



KWR | Maart 2017

TKI Watertechnologie

Toepassing van
drinkwaterslib op
fosfaatrijke gronden
t.b.v.
natuurontwikkeling
Website versie

Toepassing van drinkwaterslib op fosfaatrijke gronden t.b.v. natuurontwikkeling

TKI Watertechnologie

KWR 2017.042 | Maart 2017



Opdrachtnummer

401000

Projectmanager

Luc Palmen

Projectpartners

Brabant Water, Vitens, Waterbedrijf Groningen, AquaMinerals (voorheen Reststoffenunie)

Natuurmonumenten, Stichting Het Drentse landschap, Stichting Het Utrechts Landschap

Stichting Het Noordbrabants Landschap, Stichting Het Groninger Landschap

Groot Zevert Loon- en grondverzetbedrijf BV., Wolterink Technisch Centrum B.V.

Alterra, B-WARE

Kwaliteitsborgers

Han Runhaar (i.o.v. Flip Witte)

Auteurs

Edu Dorland, Yuki Fujita (KWR),

Wim Chardon (Wageningen Environmental Research),

Aalke Lida de Jong (AquaMinerals)

Verzonden aan

Consortiumpartners

Deze activiteit is mede gefinancierd uit de Toeslag voor Topconsortia voor
Kennis en Innovatie (TKI's) van het ministerie van Economische Zaken.

Jaar van publicatie

2017

Meer informatie

Dr. Edu Dorland

T 030-6069532

E edu.dorland@kwrwater.nl

PO Box 1072
3430 BB Nieuwegein
The Netherlands

T +31 (0)30 60 69 511
F +31 (0)30 60 61 165
E info@kwrwater.nl
I www.kwrwater.nl

KWR Watercycle
Research
Institute

KWR 2017.042 | Maart 2017 © KWR

Alle rechten voorbehouden.

Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd,
opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand,
of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze,
hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën,
opnamen, of enig andere manier, zonder voorafgaande
schriftelijke toestemming van de uitgever.

Samenvatting

Ontwikkel een machine waarmee drinkwaterslib op een effectieve manier ingebracht kan worden op fosfaatrijke gronden om zo de fosfaat-beschikbaarheid te verminderen en natuurontwikkeling te stimuleren.

Dat was de technologische doelstelling die we onszelf als TKI-consortium (een samenwerking van drinkwaterbedrijven, natuurorganisaties, kennisinstellingen en bedrijven) hadden opgelegd. Om dit te bereiken dienden verschillende onderzoeksvragen te worden beantwoord. Enerzijds wilden we meer ervaring op doen met het mengen van drinkwaterslib met verschillende bodemtypen, en de effecten die dit zou hebben op bodemchemie en vegetatie. Anderzijds beoogden we de toepassing van deze behandeling technisch mogelijk te maken, liefst ongeacht bodemtype.

Waarom überhaupt deze maatregel?

Het toedienen van ijzerrijk drinkwaterslib op fosfaatrijke (voormalige landbouw)gronden was in Nederland nog niet eerder toegepast. Hierbij wordt onder drinkwaterslib verstaan: ijzerslib en ijzerkalkslib (waar naast ijzer ook calcium in aanwezig is). Laboratoriumexperimenten hadden al wel aangetoond dat het ijzer in dit slib goed in staat is om fosfaat (P) te binden, en zo niet langer beschikbaar te laten zijn voor opname door plantenwortels. In theorie een beheermaatregel die verschrallend zou kunnen werken, en daardoor natuurontwikkeling op deze P-rijke gronden mogelijk zou maken zonder de P-rijke toplaag te hoeven afgraven. Natuurlijk, afgraven is de meest effectieve manier om P-beschikbaarheid van de bodem te verlagen, maar dit kan een kostbare maatregel zijn. Zeker als P door jarenlange bemesting een grote diepte heeft bereikt. Ook zijn er situaties waarbij afgraven niet gewenst of mogelijk is. Bijvoorbeeld wanneer archeologische waarden aanwezig zijn, of een maaiveld verlaging onwenselijk is omdat de bodem dan te nat zou worden. In die situaties kan de toepassing van ijzerrijk drinkwaterslib een goed alternatief zijn, en op kortere termijn tot de gewenste resultaten leiden dan door (zeer) langjarige verschraling middels uitmijnen kan worden bereikt.

Toepassing alleen op droge zandgrond zonder problemen uitvoerbaar

Op basis van onze ervaringen, opgedaan in een aan dit project voorafgaande pilot, hebben we drie nieuwe, kleinschalige veldexperimenten uitgevoerd. Eén locatie betrof een veenbodem (Onnerpolder nabij Groningen), de tweede locatie was zand met klei (Bloemkampen nabij Harderwijk), en de derde locatie betrof een lemige zandbodem (De Scheeken nabij Liempde). Deze verschillen in bodemtypen, en dan met name verschillen in vochtigheid en organischstofgehalte, leidde direct tot belangrijke aanwijzingen voor de toepassing. Op P-rijke, (zeer) organische bodems, zoals veengronden, is vanwege het lage soortelijk gewicht van de bodem een relatief hoge dosis drinkwaterslib nodig. Gecombineerd met de hoge weerstand van de bodem vanwege het hoge vochtgehalte, zorgde ervoor dat het grote volume slib maar zeer langzaam de bodem introk, en pas weken later met de grond vermengd kon worden. Dezelfde ervaring hadden wij bij Bloemkampen waar het hoge kleigehalte van de bodem er ook voor zorgde dat het drinkwaterslib slechts langzaam infiltreerde, overigens wel aanzienlijk sneller dan op veengrond. Alleen op de droge zandgrond in De Scheeken kon het ijzerslib, mede vanwege de relatief lage dosis die daar

nodig was, direct na opbrengen middels frezen met de bovenste 20 cm van de bodem worden gemengd. Dit leidt tot onze aanbeveling om drinkwaterslib vooral op droge zandgronden toe te passen.

Verlagend effect op P-beschikbaarheid, effecten op vegetatie blijven (nog?) uit

De drie experimentele veldproeven lieten zien, net als in de pilot en de laboratorium experimenten, dat het ijzerrijke drinkwaterslib de P-beschikbaarheid van de bovenste bodemlaag verlaagde. Wel bleek het moeilijk om vooraf de juiste dosis te berekenen die zou moeten worden toegediend om de P-beschikbaarheid tot op (of beneden) de streefwaarde voor schrale natuur te verlagen. Dit had meerdere oorzaken: variaties in drogestofgehaltes van het drinkwaterslib van dezelfde productielocatie in de tijd, grote ruimtelijke variatie in betreffend perceel, en temporele variatie wat leiden tot verschillen tijdens de voorselectie en moment van werkelijke uitvoering. Het is daarom belangrijk om vooraf zo goed mogelijk beeld te hebben van de P-beschikbaarheid en diepte van het P-front, en het drogestofgehalte van het slib direct voorafgaand aan de toepassing te meten om ter plekke de toe te dienen hoeveelheid nog te kunnen aanpassen. Daarbij moet geaccepteerd worden dat ruimtelijke verschillen zullen blijven voorkomen.

Ondanks de snelle verlaging van de P-beschikbaarheid waren er beperkt effecten op de vegetatie waarneembaar. De belangrijkste reden hiervoor is de korte looptijd (één groeiseizoen) van het experiment, maar ook het feit dat niet overal de P-beschikbaarheid tot de streefwaarde werd verlaagd door bovengenoemde factoren. Het uitleggen van soortenrijk maaisel in met ijzerslib behandelde proefvlakken in De Scheeken liet echter wel zien dat doelsoorten konden kiemen en zich vestigen op deze behandelde gronden.

Ontwikkeling van een alternatieve “zodebemester” gerealiseerd

Het mengen van het drinkwaterslib middels frezen verstoort de bodemstructuur in grote mate. Dit is niet altijd wenselijk en dit was voor ons een extra aanleiding om een machine te ontwikkelen die drinkwaterslib in één bewerkingsgang kon inbrengen onder de zode en toch voor een goede menging kon zorgen. Uitgangspunt hierbij was een zodebemester die uitgerust werd met “ganzenvoeten”. Deze doorsnijden de zode en tillen de zode licht op, zodat het slib vanuit injecteurs achter de ganzenvoeten in de zo ontstane ruimte kan lopen. Deze toepassingswijze bleek in de praktijk goed te werken. Wel is het nodig om op percelen die sterk doorworteld zijn, extra scherpe messen in te zetten die de zode goed kunnen doorsnijden. Metingen aan de bodemchemie lieten ook hier de gewenste verlagende effecten op de P-beschikbaarheid zien. Wel kan het ijzerslib minder goed met de bodem gemengd worden dan middels frezen. Een herhalingsbehandeling is daarom wellicht aan te raden. Dit aspect hebben wij verder niet onderzocht.

Aanbod van geschikte slibben inzichtelijk gemaakt

Niet elk drinkwaterslib is geschikt voor deze toepassing. De belangrijkste factoren die bepalen of slib van een bepaalde productielocatie geschikt is, zijn:

- de verhouding tussen ijzer plus aluminium, en fosfaat. Deze verhouding moet hoger zijn dan 0.1 om het mogelijk te maken de streefwaarde in het veld te bereiken.
- het gehalte aan andere zware metalen. Deze dienen dermate laag te zijn dat na het mengen van het slib met de bodem achtergrondwaarden van concentraties van deze zware metalen niet wordt verhoogd.

- een drogestofgehalte tussen 8 en 20% om vloeibare toepassing mogelijk te maken.

Juridische kant van de zaak

Bij de voorbereiding van de veldexperimenten bleek dat de bevoegde gezagen zich nog niet goed raad weten met deze innovatieve toepassing van ijzerrijk drinkwaterslib. Zij weten niet goed hoe deze stof moet worden beoordeeld en welke wettelijke kaders van toepassing zijn?

Ons onderzoek poogde ook op dit aspect meer duidelijkheid te geven. Ijzerrijk drinkwaterslib heeft de status van bijproduct. Voor het toedienen ervan als fosfaatbindingsproduct aan bodems van natuurgebieden gelden de Wet Natuurbescherming en de zorgplicht bodem. Dit laatste wil zeggen dat het gebruik geen bedreiging vormt voor de bodem. Het bevoegd gezag voor deze afweging is de gemeente of het waterschap. Ook de beheerder van het natuurgebied moet uiteraard betrokken worden en eventueel vergunning verlenen voor het toepassen van drinkwaterslib in een natuurgebied.

Ons onderzoek heeft aangetoond dat de toepassing van drinkwaterslib geen nadelige effecten heeft op de bodem. Door bij de selectie van geschikte drinkwaterslibben de concentraties aan zware metalen als één van de selectiecriteria mee te nemen, wordt voorkomen dat de natuurlijke achtergrondwaarden voor deze metalen worden overschreden. Daarnaast bindt het ijzer in het drinkwaterslib, behalve fosfaat, ook in de bodem aanwezige metalen, en verlaagt zo de beschikbare concentratie ervan.

Ook economische interessante maatregel

Afgraven is het meest effectief om P-rijke gronden te verwijderen. Aan deze maatregel zijn echter hoge kosten verbonden. Op P-rijke percelen waar afgraven te duur of onwenselijk is, en natuurontwikkeling middels uitmijnen te lang zou gaan duren, kan de toediening van drinkwaterslib een betaalbaar alternatief zijn.

De kosten van deze toepassing zijn sterk afhankelijk van de keuze van het slib (ijzerslib of ijzerkalkslib), al dan niet gebruik van een tussenopslag en de noodzaak van zode verwijdering. In de meeste gevallen zal levering via een opslag noodzakelijk zijn om de benodigde hoeveelheid en gewenste specificatie te kunnen leveren.

Voor de toepassing van ijzerkalkslib, waar momenteel (anders dan voor ijzerslib), nog geen goede alternatieve afzetmarkt voor is, is ook vanuit economisch perspectief interessant. De kosten van deze maatregel (zonder zode verwijdering) zijn op zandgrond lager dan de kosten van afgraven en van dezelfde orde grootte als uitmijnen.

Beslischulp ontwikkeld

Zoals hierboven al is beschreven, is het toedienen van drinkwaterslib slechts één van de potentiële maatregelen die een natuurbeheerder tot beschikking heeft om op P-rijke gronden natuur te ontwikkelen. Welke maatregel de beste keus is, zal van geval tot geval verschillen en is afhankelijk van verschillende factoren. In ons project hebben we middels een overzichtelijk stappenplan deze keuzes op een rij gezet en geven we advies wat te doen in welke situatie.

Inhoud

1	Inleiding	7
1.1	Aanleiding en achtergrond	7
1.2	Doel	7
1.3	Samenwerkingsverband	8
1.4	Leeswijzer	8
2	Onderzoek naar (meerjarige) effecten van drinkwaterslib op verschillende bodemtypen- Deel 1. Voortzetting pilot	9
2.1	Doel en onderzoeksvragen	9
2.2	Aanpak	9
2.3	Resultaten	13
2.4	Samenvatting	23
3	Onderzoek naar (meerjarige) effecten van drinkwaterslib op verschillende bodemtypen- Deel 2. Nieuwe proeflocaties	24
3.1	Doel en onderzoeksvragen	24
3.2	Selectie van proefgebieden	24
3.3	Resultaten	32
3.4	Samenvatting	39
4	Onderzoek naar techniek van opbrengen drinkwaterslib	42
4.1	Doel en onderzoeksvragen	42
4.2	Aanpak	42
4.3	Resultaten	45
4.4	Samenvatting	48
5	Effecten op bodemorganismen	49
5.1	Introductie	49
5.2	Achtergrondinformatie springstaarten	49
5.3	Methode	50
5.4	Resultaten	51
5.5	Discussie	62
6	Juridische aspecten toepassing	65
6.1	Aanleiding	65
6.2	Wettelijke kaders	65
6.3	Conclusies	67
7	Aanbod en selectie geschikt slib	68
7.1	Selectie geschikt slib	68
7.2	Selectiecriteria samenstelling	68
7.3	Aanbod geschikte slibben	68
7.4	Selectie geschikte slibben	69

7.5	Conclusies	70
8	Kosten en logistiek toepassing drinkwaterslib	71
8.1	Leveringsketen	71
8.2	Tussenopslag	72
8.3	Kosten	72
8.4	Vergelijking kosten alternatieven	73
8.5	Conclusie	74
9	Beantwoording onderzoeksvragen en stappenplan	75
9.1	Beantwoording onderzoeksvragen	75
9.2	Stappenplan toepassing drinkwaterslib	77
9.3	Aanbevelingen	82
10	Literatuurlijst	83
11	Bijlagen	85

1 Inleiding

1.1 Aanleiding en achtergrond

Fosfaat(P)-rijke bodems zijn een belemmering voor de ontwikkeling van waardevolle natuur. Dit geldt niet alleen voor bestaande natuurgebieden, maar ook voor landbouwgronden die een natuurbestemming krijgen. Het afgraven van deze P-rijke grond (ontgronden) is niet alleen een dure maatregel, maar is soms ook niet mogelijk vanwege aanwezige cultuurhistorische en/of archeologische waarden, of vanwege negatieve gevolgen voor de lokale waterhuishouding. Uit onderzoek in Nederland (Koopmans et al., 2010), maar ook uit buitenlandse toepassingen (o.a. Agyin-Birikorang et al., 2013), blijkt het mengen van drinkwaterslib met deze P-rijke bodems een effectieve maatregel om P aan de bodem te binden en zo de P-beschikbaarheid voor planten te verkleinen.

Dit P-bindend vermogen van ijzeroxides werd al begin jaren tachtig onderkend (Borggaard, 1983) en de totale hoeveelheid P die aan de bodem kan worden gebonden is onder andere gerelateerd aan de hoeveelheid amorf ijzer (Fe_{ox}) en aluminium (Al_{ox}) in de bodem (Freese et al., 1992). De effectiviteit en stabiliteit van P-binding door de bodem is afhankelijk van de bodem-pH, de ionensamenstelling van het bodemvocht, de aanwezigheid van organisch materiaal (Weng, 2012), de aanwezigheid van andere elementen die P binden (zoals Ca, en Al), en de redoxconditie van de bodem. Data over de stabiliteit van deze P-binding in bodems zijn schaars, maar laboratorium experimenten toonden aan dat zelfs na 139 dagen inundatie, wat leidde tot reducerende omstandigheden in de bodem, slechts 1% van gebonden P vrijkwam (Sherwood & Qualis, 2001). De P-binding door de bodem kan op lange termijn stabiel zijn (Makris et al., 2005), maar gezien het grote aantal factoren dat van invloed is op deze binding, is meer onderzoek naar dit onderwerp gewenst.

Drinkwaterslib ontstaat op locaties waar grondwater wordt gezuiverd tot drinkwater. Afhankelijk van de zuiveringsprocessen bestaat het gevormde drinkwaterslib uit vrijwel volledig ijzerslib of uit kalkslib, of een mengvorm van beide. De voorlopige resultaten van een eerste, kleinschalige veldproef op zand zijn veelbelovend (Dorland et al., 2016), maar maken ook duidelijk dat meer onderzoek nodig is naar de effecten van verschillende typen drinkwaterslib op uiteenlopende bodemtypen in Nederland en naar de meest geschikte wijze van toepassing.

1.2 Doel

Het doel van dit TKI-project is tweeledig:

- 1) Het opbouwen van (meerjarige) ervaring met de toepassing van drinkwaterslib van verschillende samenstellingen (ijzerslib of ijzerkalkslib) op een aantal verschillende bodemtypen en vochtcondities (gradiënt van droog naar nat) in Nederland om zo P te immobiliseren.
- 2) Het ontwikkelen van een machine (inclusief formuleren van specificaties) die met minimale bodemdruk, goede menging en constante dosering drinkwaterslib kan opbrengen ongeacht de consistentie van het slib en bodemtype.

Deze doelen zijn vertaald naar twee verschillende onderzoekslijnen:

Onderzoekslijn 1: Onderzoek naar (meerjarige) effecten van drinkwaterslib op verschillende bodemtypen;

Onderzoekslijn 2: Onderzoek naar techniek van opbrengen drinkwaterslib.

1.3 Samenwerkingsverband

Het onderzoeksconsortium bestaat uit een groot aantal organisaties die tezamen een breed spectrum beslaan: drinkwaterbedrijven, marketing van reststoffen, terreinbeheerders, kennisinstituten, provinciale overheden en MKB (Tabel 1-1).

TABEL 1-1. OVERZICHT VAN DEELNEMENDE PARTNERS

Partner	Rol in project
KWR	Consortiumpartner/projectleider/penvoerder
Brabant Water	Consortiumpartner
Vitens	Consortiumpartner
Waterbedrijf Groningen	Consortiumpartner
AquaMinerals (voorheen Reststoffenunie)	Consortiumpartner
Loonbedrijf Groot Zevert	Consortiumpartner
Natuurmonumenten	Consortiumpartner
Stichting Het Drentse Landschap	Consortiumpartner
Stichting Het Utrechts Landschap	Consortiumpartner
Stichting Het Noordbrabants Landschap	Consortiumpartner
Stichting Het Groninger Landschap	Project-partner
Wolterink Technisch Centrum B.V.	Project-partner
Wageningen Environmental Research (voorheen Alterra)	Project-partner
Onderzoekscentrum B-WARE	Project-partner

1.4 Leeswijzer

Dit rapport beschrijft de resultaten van vier jaar onderzoek naar de toepassing van ijzerrijk drinkwaterslib op fosfaatrijke gronden. In hoofdstuk 2 wordt ingegaan op het pilotonderzoek dat in 2013 in één terrein is gestart (onderdeel van onderzoekslijn 1). Dit experiment, dat oorspronkelijk was opgezet vanuit het Bedrijfstakonderzoek van KWR, heeft in 2015 binnen dit TKI-project een vervolg gekregen in de vorm van een aanvullende monitoringsronde. Hoofdstuk 3 presenteert het onderzoek dat, gebaseerd op de bevindingen uit de pilot, in een drietal nieuwe proeflocaties is uitgevoerd (onderzoekslijn 1). In hoofdstuk 4 wordt ingegaan op de technologische kant van dit onderzoek: de ontwikkeling en toepassing van een speciaal ontwikkelde machine voor de toediening van het drinkwaterslib (onderzoekslijn 2). Hoofdstuk 5 gaat in op een apart onderdeel van ons onderzoek: de mogelijke effecten van ijzerslib op het bodemleven, toegespitst op springstaarten. Behalve deze experimentele onderzoekskanten, kent de toepassing van drinkwaterslib ook een juridische en logistieke kant. In hoofdstuk 6 wordt ingegaan op de wetgeving die op het gebruik van drinkwaterslib in natuurgebieden van toepassing is. Hoofdstuk 7 geeft de resultaten van onze analyse van het aanbod van potentieel geschikte drinkwaterslibben. In hoofdstuk 8 wordt een indicatie gegeven van de kosten die met deze toepassing gemoeid zijn. Tenslotte worden in hoofdstuk 9 alle bevindingen samengevat en wordt een stappenplan gepresenteerd voor de afwegingen bij de toepassing van drinkwaterslib.

2 Onderzoek naar (meerjarige) effecten van drinkwaterslib op verschillende bodemtypen- Deel 1. Voortzetting pilot

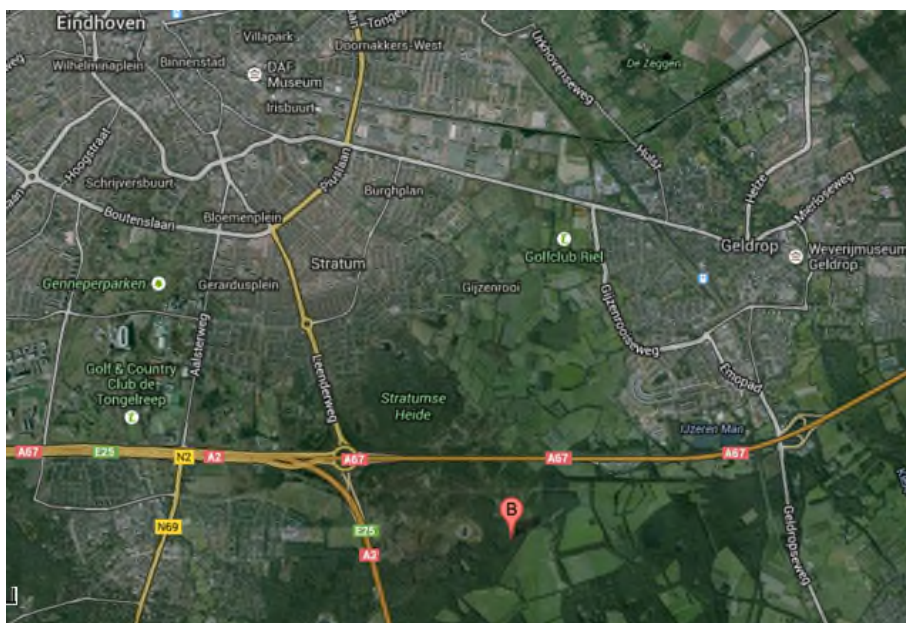
2.1 Doel en onderzoeksvragen

Kennis van de duur van effecten van drinkwaterslib op bodemchemie en vegetatie zijn schaars. Het doel van dit onderzoek is om meerjarige veldresultaten te verkrijgen van de toepassing van ijzerslib door de veldproef, die in 2013 in het kader van Bedrijfstakingonderzoek van KWR is gestart, met één jaar monitoring te verlengen. De onderzoeksvragen die hier centraal staan, zijn:

- Leidt toepassing van ijzerslib tot een meerjarige verlaging van de fosfaatbeschikbaarheid op zandgrond?
- Heeft de toepassing van ijzerslib een positief effect op de vegetatie ontwikkeling, zoals een toename van soorten die kenmerkend zijn voor schrale graslanden?

2.2 Aanpak

In 2013 is door KWR een veldproef ingericht in het gebied Groote Heide nabij Heeze (Figuur 2-1). Dit 1.100 ha grote gebied is grotendeels in bezit van Brabant Water, Stichting het Noordbrabants Landschap en de gemeente Heeze-Leende. Tot 1900 bestond het gebied uit open heidelandschap met (zeer) grote en kleine vennen. Het was destijds onderdeel van een 5.000 ha groot heidegebied dat zich uitstreckte van Eindhoven tot aan de Belgische grens. Het perceel waar dit experiment is ingericht bleek uit vooronderzoek de hoogste P-beschikbaarheid te hebben (zie Dorland et al. (2015) voor een uitgebreidere beschrijving van deze selectie). Vervolgens is op basis van de chemische samenstelling van de bodem en ijzerslib van winning Vessem (PSI = 0.014, Fe-gehalte = 40%, drogestofgehalte van 23 %) de hoeveelheid op te brengen dosis slib berekend. Middels een incubatieproef werd aangetoond dat deze berekende dosis daadwerkelijk leidde tot de gewenste verlaging van het gehalte aan beschikbaar P.

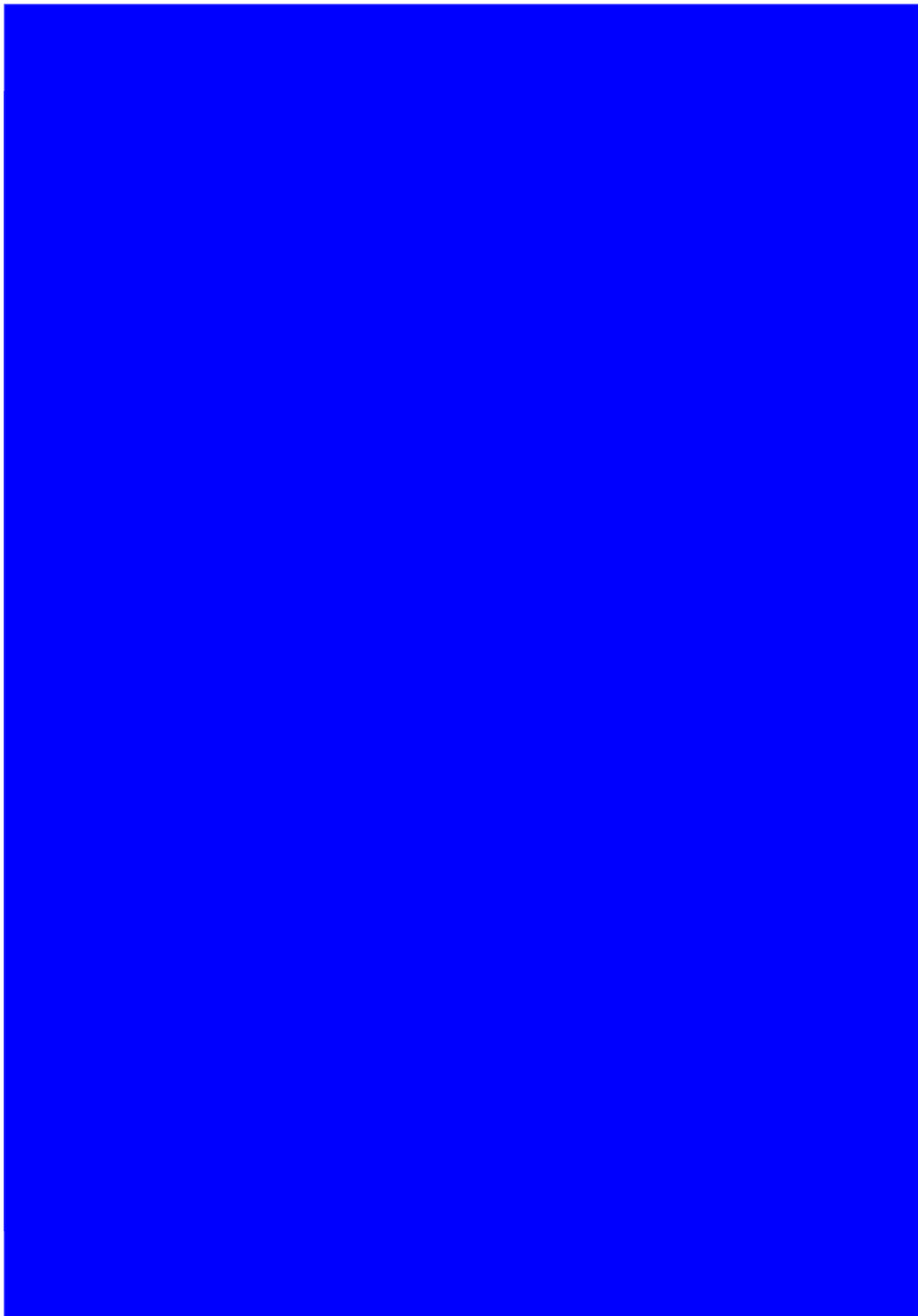


FIGUUR 2-1. LIGGING GROOTE HEIDE (B) TEN OPZICHTE VAN EINDHOVEN EN SNELWEGEN A2 EN A57.

Ijzerslib is op 25 juni 2013 met een mestinjecteur toegediend in proefvlakken van 6 x 6 m waarvan de zode (de bovenste ca. 5 cm van de bodem) wel of niet was verwijderd (Tabel 2-1). Na toediening is het ijzerslib middels frezen (freesdiepte van 20 cm) gemengd met de bodem. Om de effecten van zode verwijdering en frezen zelf te onderzoeken, zijn deze behandelingen ook zonder combinatie met ijzerslib uitgevoerd. Elke behandeling is in twee- of drievoud uitgevoerd. Figuur 2-2 geeft een schematisch overzicht van alle behandelingen. Een foto impressie van de toepassing en inrichting van de veldproef is weergegeven in Figuur 2-3.

TABEL 2-1. BEHANDELINGEN IN VELDPROEF GROOTE HEIDE.

Behandeling	Code	Zode verwijderd	Ijzerslib	Dikte ijzersliblaag (cm)	Gefreesd	Aantal replica's
Ijzerslib	FFe	Nee	Ja	0.64	Ja	3
Ijzerslib na zode verwijdering	ZFFe	Ja	Ja	0.46	Ja	3
Zode verwijdering	Z	Ja	Nee	0	Nee	2
Zode verwijdering en frezen	ZF	Ja	Nee	0	Ja	3
Frezen	F	Nee	Nee	0	Ja	3
Niets doen (controle)	C	Nee	Nee	0	Nee	2



FIGUUR 2-2. OVERZICHT VAN BEHANDELINGEN. ELKE RIJ IS CA. 8M BREED. PROEFVLAKKEN ZIJN 6 X 6 M MET CA 1.5 M TUSSENRUIMTE.



A. GROOTE HEIDE VOORAFGAAND AAN
BEHANDELINGEN



B. VERWIJDERDE ZODEN VOORSTE DEEL



C. INJECTEREN IJZERSLIB



D. INJECTEREN IJZERSLIB NA ZODE VERWIJDERING



E. FREZEN VAN VLAK ZONDER IJZERSLIB



F. FREZEN VAN VLAK MET IJZERSLIB



G. BEELD NA FREZEN IN VLAK MET ZODE



H. OVERZICHT VAN INGERICHTE PROEFVLAKKEN

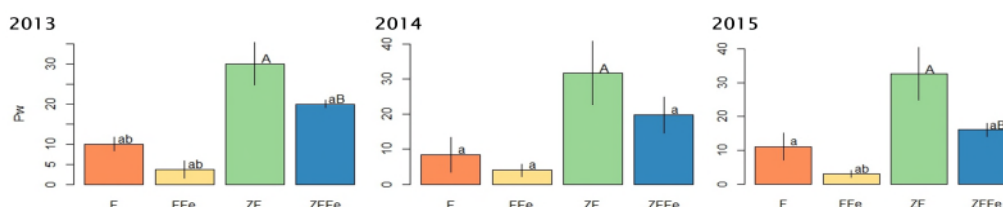
FIGUUR 2-3. OVERZICHT VAN BEHANDELINGEN IN GROOTE HEIDE.

2.3 Resultaten

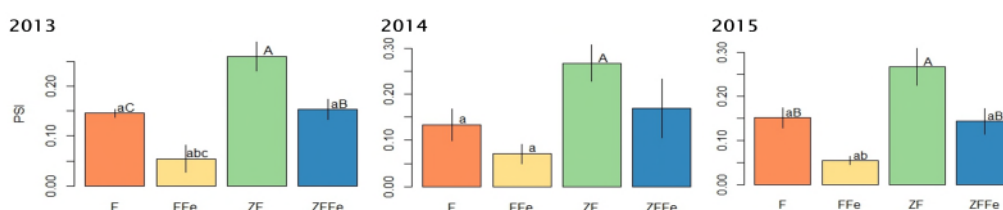
2.3.1 Bodemchemie

2.3.1.1 Effect ijzerslibbehandeling op Pw en PSI

De toediening van ijzerslib heeft geleid tot een duidelijke verlaging van zowel de gemiddelde Pw-waarde als van de PSI (Figuur 2-4 en Figuur 2-5). Deze afname was het grootst in de proefvlakken waar de zode was verwijderd. Echter, in deze proefvlakken was de afname in zowel Pw als PSI onvoldoende om onder de grenswaarden voor deze variabelen uit te komen. Deze grenswaarden geven de maximale waarden aan waarbij de voedselrijkdom (P-beschikbaarheid in dit geval) nog voldoende laag is om de ontwikkeling van schrale natuur mogelijk te maken. In de proefvlakken met zode waren zowel de Pw als de PSI op T0 al aanzienlijk lager dan in de proefvlakken zonder zode, en de toediening van ijzerslib verlaagde deze waarden tot ruim beneden de grenswaarden. Op dit wat onverwachte verschil wordt in de volgende paragraaf ingegaan.



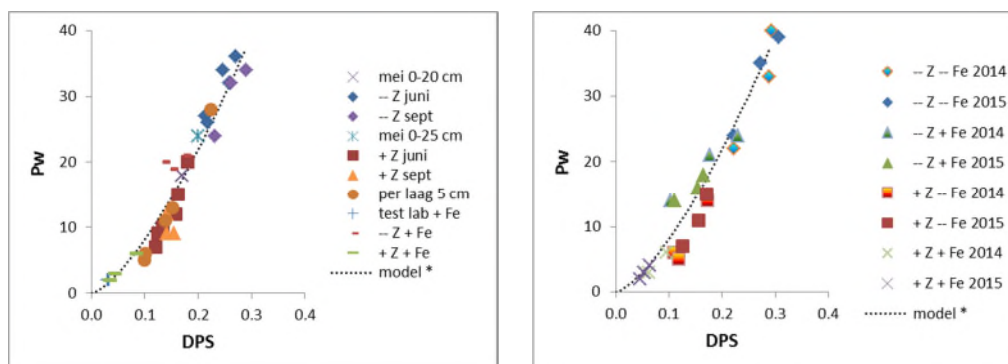
FIGUUR 2-4. GEMIDDELDE PW-WAARDEN (+S.E.) OP T0 (VÓÓR DE BEHANDELING OP 25 JUNI 2013) EN RUIM 1 JAAR LATER (T2, SEP 2014). STREEFWAARDE VOOR EEN GUNSTIGE UITGANGSSITUATIE VOOR NATUURONTWIKKELING IS EEN PW-WAARDE ≤ 10 MG P_2O_5 /L GROND (CHARDON, 2009). DE BEHANDELINGEN MET GROTE EN KLEINE LETTERS ZIJN SIGNIFICANT VERSCHILLENDE ($P < 0.05$ MET MULTIPLE COMPARISON TEST (TURKEY'S HSD)).



FIGUUR 2-5. GEMIDDELDE PSI-WAARDEN (+S.E.) OP T0 (VOOR DE BEHANDELING OP 25 JUNI 2013) EN RUIM 1 JAAR LATER (T2, SEP 2014). STREEFWAARDE VOOR EEN GUNSTIGE UITGANGSSITUATIE VOOR NATUURONTWIKKELING IS EEN PSI-WAARDE ≤ 0.1 (CHARDON, 2009). DE BEHANDELINGEN MET GROTE EN KLEINE LETTERS ZIJN SIGNIFICANT VERSCHILLENDE ($P < 0.05$ MET MULTIPLE COMPARISON TEST (TURKEY'S HSD)).

De relatie tussen de gemeten Pw-waarden en PSI waren in 2013, 2014 en 2015 conform de relatie die uit de literatuur bekend is voor deze parameters (Chardon, 2004; Figuur 2-7). Dit

betekent dat de gemeten waarden, ongeacht de behandeling die de proefvlakken hebben ondergaan, betrouwbaar zijn.

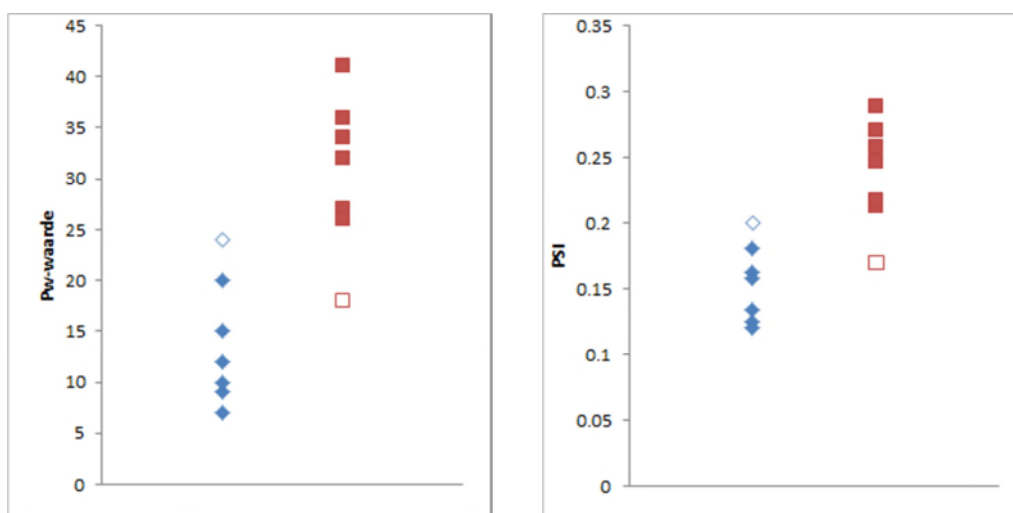


FIGUUR 2-6. VERBAND TUSSEN PW EN PSI (DPS GENOEMD IN DEZE FIGUUR; $= (P/[AL+FE]) - OX$). LINKS VOOR ALLE ANALYSES DIE IN 2013 WERDEN UITGEVOERD, EN RECHTS AAN MONSTERS DIE WERDEN GENOMEN IN 2014 EN 2015. IN BEIDE DATASETS IS DEZELFDE CURVE GETEKEND (CHARDON, 1994.)

2.3.1.2 Bodemcondities op T0 in meer detail

In de voorgaande paragraaf is beschreven dat de verlaging van de P-beschikbaarheid in de proefvlakken waar de zode was verwijderd, minder was dan verwacht op basis van de berekende hoeveelheid op te brengen ijzerslib. Doel was immers om ook hier de P-beschikbaarheid tot onder de grenswaarden te verlagen.

Een belangrijke reden voor het tegenvallende resultaat is het verschil in P-beschikbaarheid bij de start van deze veldproef, na het aanleggen van de proefvlakken, maar vlak voor het opbrengen van ijzerslib (T0, juni 2013) en op het moment van voorselectie van dit perceel in mei 2013. Bij de voorselectie waren de Pw- en PSI-waarden van de verzamelde mengmonsters van de bodemlaag 5-25 cm (zonder zode dus) lager dan de gemiddelde waarden van de proefvlakken op T0 in het deel waar de zode was verwijderd (Figuur 2-7). Voor de situatie met intacte zode (0-25 cm) werd het omgekeerde gemeten, daar waren de Pw- en PSI-waarden op T0 juist lager dan in mei. Aangezien de P-beschikbaarheid op het moment van de voorselectie is gebruikt om de hoeveelheid toe te dienen ijzerslib te berekenen, heeft dit geleid tot een onderschatting van de benodigde hoeveelheid ijzerslib voor de proefvlakken zonder zode. Voor de proefvlakken met zode heeft dit daarentegen geresulteerd in een overschatting van de benodigde hoeveelheid ijzerslib. Het is hierdoor dus niet meer mogelijk om de effectiviteit van ijzerbehandeling op bodems met en bodems zonder zode met elkaar te vergelijken.



FIGUUR 2-7. PW (LINKS) EN PSI (RECHTS) VOOR DE SITUATIE MET ZODE (BLAUW, 0-25 CM) EN ZONDER ZODE (ROOD, 5-25 CM). DE GEMETEN WAARDEN OP T0 BETREFFEN DE GESLOTEN SYMBOLEN. DE OPEN SYMBOLEN GEVEN DE WAARDEN WEER DIE TIJDENS DE VOORSELECTIE ZIJN GEMETEN ALS GEMIDDELDE VOOR HET GEHELE PERCEEL.

Uit Figuur 2-7 blijkt ook een ander belangrijk en onverwacht verschil tussen de metingen van de voorselectie en T0. De P-beschikbaarheid in de mengmonsters die bij de voorselectie werden verzameld was hoger in monsters uit de laag 0-25 cm (met zode) dan in die uit de laag 5-25 cm (zonder zode). Op T0, toen de zode dus daadwerkelijk verwijderd was in dat deel van de proef, werd het tegenovergestelde gemeten: hogere P-beschikbaarheid in de vlakken zonder zode waar monsters uit de laag 0-20 cm werden genomen, dan bij de voorselectie in de monsters voor 0-25 cm was gemeten.

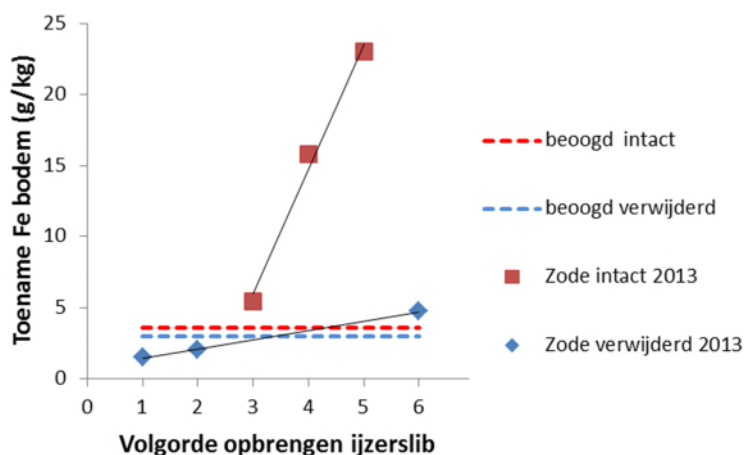
Om dit verschil nader te onderzoeken is op tijdstip T1 (sep. 2013) op een ongestoorde plek buiten de proefvlakken een monster genomen van elke 5 cm tot aan een diepte van 25 cm. Ook van deze monsters werden Pw en PSI bepaald (uitkomsten staan in Tabel 2-2). Uit deze metingen blijkt dat de bovenste bodemlaag (0-5 cm) de hoogste P-beschikbaarheid heeft. De P-beschikbaarheid neemt af met toenemende diepte. Op basis van deze gegevens zou men verwachten dat de gemiddelde P-beschikbaarheid van de bodemlagen 0-25 cm (met zode dus) hoger is dan van de bodemlagen 5-25 cm (zonder zode): de situatie die wel tijdens de voorselectie werd gemeten, maar niet op T0 (Figuur 2-7). Dit kan dus niet de verklaring zijn voor de in Figuur 2-4 weergegeven verschillen. Een andere mogelijke verklaring kan zijn dat de percelen die het dichtst bij de weg liggen in het verleden het meest bemest zijn, waardoor ook de diepere bodemlagen P-rijk zijn. Het verwijderen van de zode in deze voorste delen, leidde daardoor niet tot voldoende afname van de P-beschikbaarheid.

TABEL 2-2. FOSFAATBESCHIKBAARHEID (PW) EN VERZADIGINGSINDEX (PSI) VAN BODEMLAGEN PER 5 CM, GEMETEN OP ÉÉN PLEK WAAR DE ZODE NIET VERWIJDERD WAS.

parameter	eenheid	Bodemlaag (cm)				
		0-5	5-10	10-15	15-20	20-25
Pw	mg P ₂ O ₅ /L grond	28	13	11	5	6
PSI	mol/mol	0.22	0.15	0.14	0.10	0.10

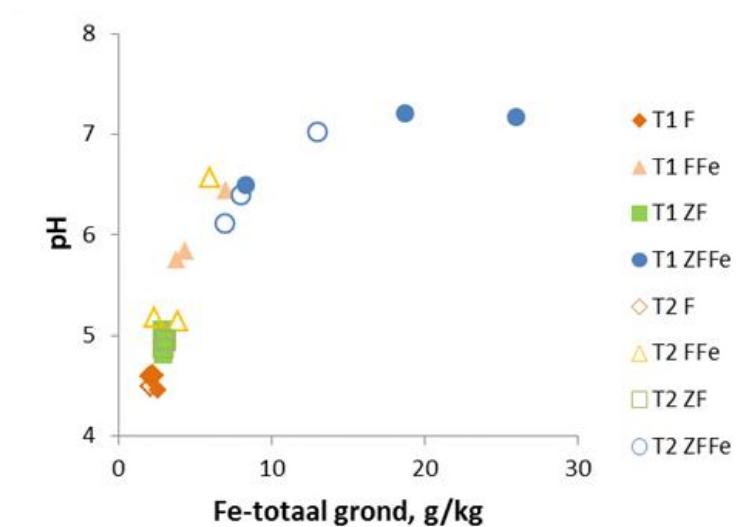
2.3.1.3 Toediening ijzerslib in de tijd

Een ander onverwacht knelpunt in de toediening van ijzerslib was het feit dat de dosis ijzerslib gedurende het uitrijden niet constant is gebleken. Elk van de drie replica's per behandeling had dezelfde dosis ijzerslib moeten krijgen, maar dit bleek niet het geval. Door te bepalen wat de toename in het gehalte aan totaal Fe (gemeten via een destructie met aqua regia) was als gevolg van de ijzerslibbehandeling, blijkt dat deze toename groter was naarmate een plot later tijdens het uitrijden was behandeld, en dat dit effect veel sterker optrad bij de proefvlakken waar de zode niet was verwijderd (Figuur 2-8). Met name bij proefvlakken 4 en 5 was de toename in totaal-Fe vele malen groter dan beoogd.



FIGUUR 2-8. TOENAME VAN TOTAAL-FE T.O.V. GEMIDDELDE VAN 3 ONBEHANDELDE PROEFVLAKKEN, WEERGEGEVEN IN DE VOLGORDE VAN OPBRENGEN VAN HET IJZERSLIB. MET HORIZONTALE LIJNEN IS AANGEGEVEN WAT DE BEOOGDE TOENAME WAS VAN FE.

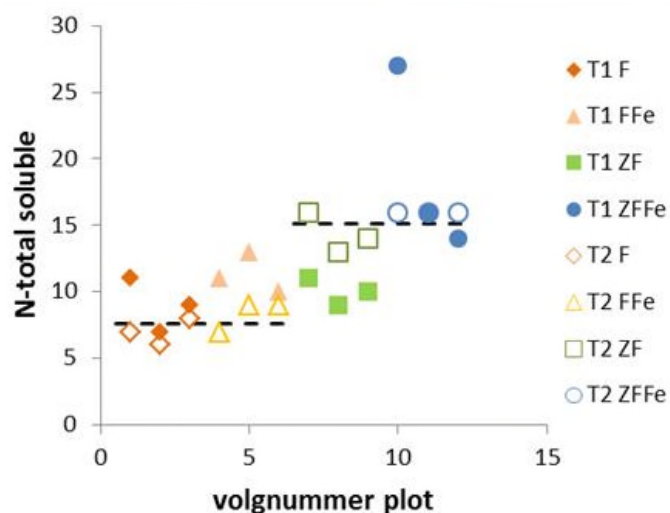
De – onbedoeld – sterk uiteenlopende hoeveelheden ijzerslib die zijn opgebracht hebben behalve tot grote verschillen in gehalte aan Fe, ook geleid tot uiteenlopende waarden van de pH van de bodem (Figuur 2-9). De toename van de pH kan worden toegeschreven aan het feit dat het in deze proef gebruikte ijzerslib, afkomstig van de productielocatie Vessem, een vrij grote hoeveelheid Ca bevat. In eerder onderzoek werd vastgesteld dat dit slib (omgerekend) 20 % CaCO_3 bevat, dat afkomstig is van het filterbed dat op deze locatie bestaat uit marmerkorrels (Koopmans et al., 2010).



FIGUUR 2-9. VERBAND TUSSEN DE PH EN HET TOTAALGEHALTE AAN FE IN DE BODEM.

2.3.1.4 Stikstof

In een extract met 0,01M CaCl_2 werd het totaalgehalte aan (organisch + anorganisch) N gemeten. De gehalten hieraan is voor de 12 proefvlakken voor T1 en T2 weergegeven in Figuur 2-10. Hieruit blijkt dat het gemiddelde gehalte aan N-ts hoger ligt in de proefvlakken met de nog aanwezige, maar gefreesde zode: de gemiddelden voor zowel wel als geen ijzerslib lagen hier op T2 (sept. 2014) op 15.3 mg N/kg, en in de proefvlakken waar de zode was verwijderd was dit 7.7 mg/kg. Het toedienen van ijzerslib had slechts een beperkt effect.

FIGUUR 2-10. GEHALTE AAN TOTAAL OPLOSBAAR N (N-TS), GEMETEN IN EEN EXTRACT MET 0,01M CaCl_2 .

2.3.1.5 Zware metalen

In Bijlage I voor T2 samengevat wat de gehalten waren van een aantal elementen, waaronder zware metalen, op de verschillende proefvlakken. De gehalten werden zowel gemeten in een extract met 0.01 M CaCl_2 , wat een maat geeft voor de gemakkelijk beschikbare fractie, als na

een aqua regia destructie (HNO_3 -HCL); dit geeft een maat voor de totaalgehalten. Voor alle gemiddelde waarden van de drie proefvlakken werd de verhouding berekend voor de gemiddelde gehalten van de +Fe-variant en de -Fe-variant. Een waarde > 1 betekent dan dat het toedienen van Fe-slib een gehalte verhoogt.

Na destructie was dit voor een aantal elementen het geval, namelijk voor Ca, Fe, Mn, Co, en V. Voor Co en V was dit echter niet significant bij de proefvlakken waar de zode was verwijderd, omdat het verschil tussen de gemiddelde waarden kleiner was dan de som van de standaardafwijkingen van de gemiddelden. Voor V was ook de variant met intacte zode niet significant.

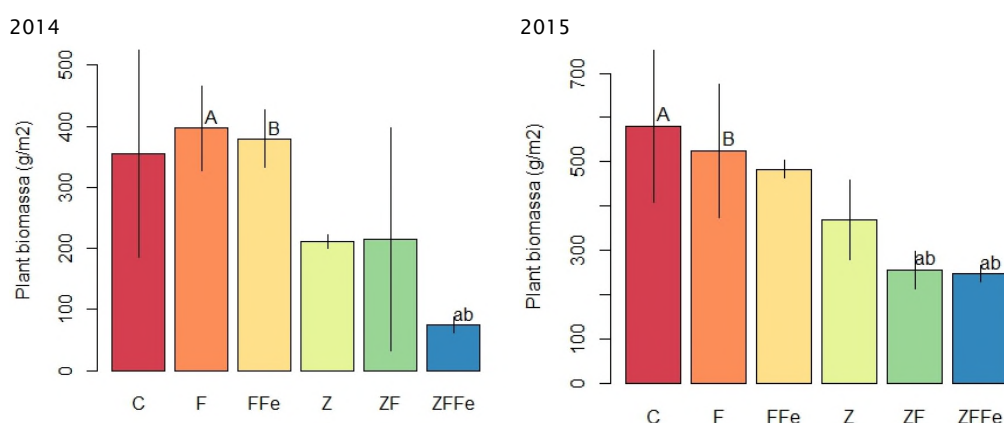
In het CaCl_2 -extract is de waarde vaak <1, wat betekent dat toedienen van ijzerslib leidde tot een verlaging van het direct beschikbaar gehalte, voor: Al, P, As, Cd, Co, Cr, Cu, Ni, Pb, V, Zn. Significant was dit effect voor Al, As, Co, Cr, Cu, Ni, Pb, V, en Zn. Het gehalte aan direct beschikbaar S wordt significant verhoogd voor de variant met intacte zode.

2.3.2 Vegetatie

2.3.2.1 Biomassaproductie

Uit de metingen na het 2^e groeiseizoen, in 2014, bleek dat de toevoeging van ijzerslib een dalend (maar niet significant) effect had op de biomassaproductie in de gefreesde proefvlakken (FFe in vergelijking tot F) en een dalend (maar niet significant) effect in de proefvlakken waar de zode was verwijderd en gefreesd (ZFFe t.o.v. ZF) (Figuur 2-11 links). Na het 3^e groeiseizoen, in 2015, waren deze effecten van ijzerslib minder duidelijk (Figuur 2-11 rechts).

De biomassa werd lager door de zode verwijdering, zoals in Z in vergelijking tot C, ZF in vergelijking tot F, en ZFFe t.o.v. FFe. Dit verschil was echter alleen significant na het 2^e groeiseizoen in de met ijzerslib behandelde proefvlakken (ZFFe t.o.v. FFe in 2014). De effecten van zode verwijdering waren ook na het 3^e groeiseizoen in 2015 nog zichtbaar, zij het niet significant.



FIGUUR 2-11. BOVENGRONDSE PLANTENBIOMASSA (G DROOGGEWICHT /M²) AAN HET EIND VAN HET 2^e (SEPTEMBER 2014) EN 3^e GROEISEIZOEN (SEPTEMBER 2015). DE WAARDEN ZIJN GEMIDDELDEN (N = 2 VOOR 'C' EN 'Z', N=3 VOOR DE OVERIGE BEHANDELINGEN) EN STANDAARDDEVIATIES. ZIE FIGUUR 2-12 VOOR DE AFKORTINGEN VAN DE BEHANDELINGEN.

2.3.2.2 Nutriëntengehalte

Het nutriëntengehalte in de biomassa van de proefvlakken is op twee manieren onderzocht, namelijk voor de totale biomassa, en apart voor het gras Gestreepte witbol (*Holcus lanatus*), dat in alle proefvlakken voorkwam. Dit laatste werd gedaan om eventuele verschillen in nutriëntengehalte die worden veroorzaakt door verschillen in soortensamenstelling, uit te kunnen sluiten.

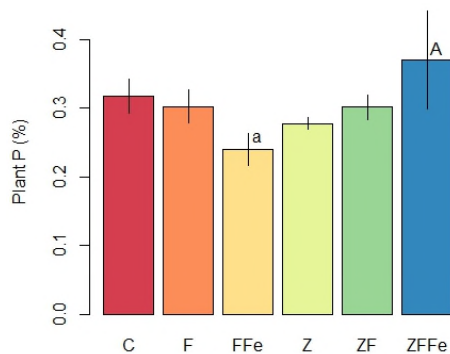
Na het 2^e groeiseizoen was het fosforgehalte van Gestreepte witbol verhoogd (hoewel niet significant) door de toevoeging van ijzerslib (FFe in vergelijking tot F) maar verlaagd in de proefvlakken waar de zode was verwijderd (ZFFe t.o.v. ZF) (Figuur 2-12a links). Na het 3^e groeiseizoen werd het fosforgehalte iets lager (hoewel niet significant) door ijzerslib ongeacht of de zode verwijderd was (Figuur 2-12a rechts).

De N:P ratio was verhoogd (hoewel niet significant) door de toevoeging van ijzerslib aan de proefvlakken (FFe in vergelijking tot F) (Figuur 2-12c). In de proefvlakken waar de zode was verwijderd, was de N:P ratio vrijwel hetzelfde in de proefvlakken met en zonder ijzerslib gift (ZFFe in vergelijking tot ZF) (Figuur 2-12c).

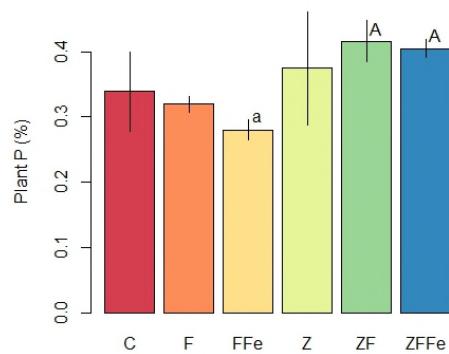
De trends in het nutriëntengehalte van de totale biomassa waren vergelijkbaar met die van Gestreepte witbol (Figuur 2-13 a-c).

a) Fosfor (%) in Gestreepte witbol

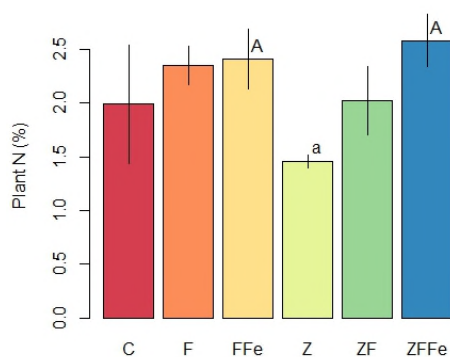
2014



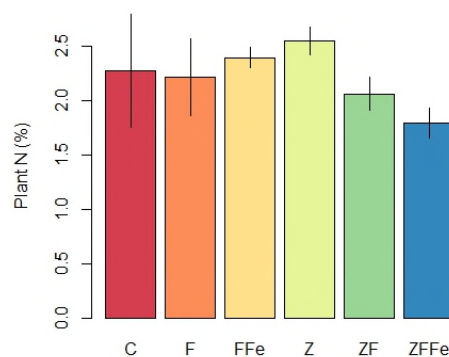
2015

**b) Stikstof (%) in Gestreepte witbol**

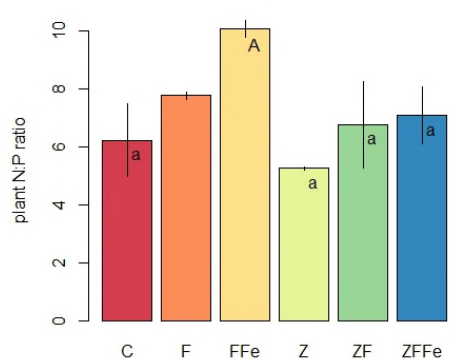
2014



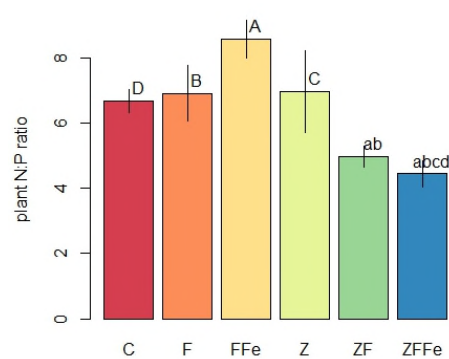
2015

**c) Stikstof : Fosfor ratio in Gestreepte witbol**

2014



2015



C: Controle

F: Frezen

FFe: Frezen + Ijzerslib

Z: Zode verwijderen

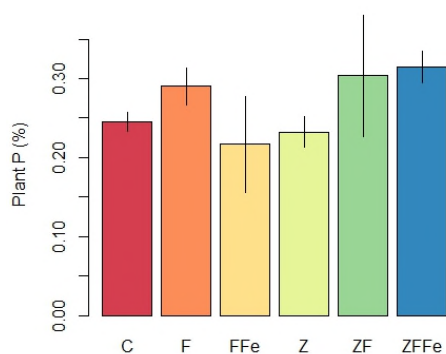
ZF: Zode verwijderen + Frezen

ZFFe: Zode verwijderen + Frezen + Ijzerslib

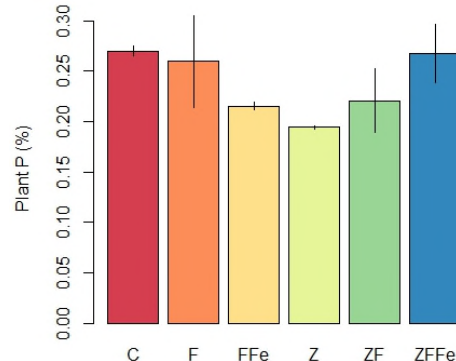
FIGUUR 2-12. CONCENTRATIES (%) VAN FOSFOR (A), STIKSTOF (B), EN DE STIKSTOF : FOSFOR RATIO IN G/G (C) IN BOVENGRONDSE BIOMASSA VAN VIJF GEZONDE INDIVIDUEN VAN GESTREEPTE WITBOL AAN HET EINDE VAN HET 2^e (SEPTEMBER 2014) EN 3^e GROEISEIZOEN (SEPTEMBER 2015). DE WAARDEN ZIJN GEMIDDELDEN (N = 2 VOOR C EN Z, N=3 VOOR DE REST VAN DE BEHANDELINGEN) EN STANDAARDDEVIATIES.

a) Fosfor (%) in de totale biomassa

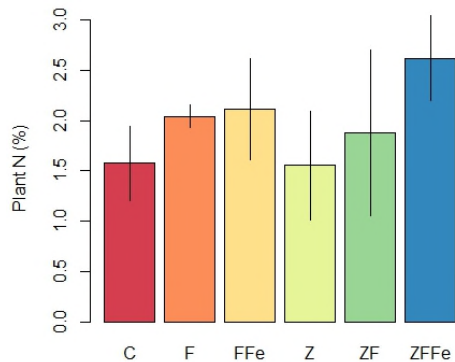
2014



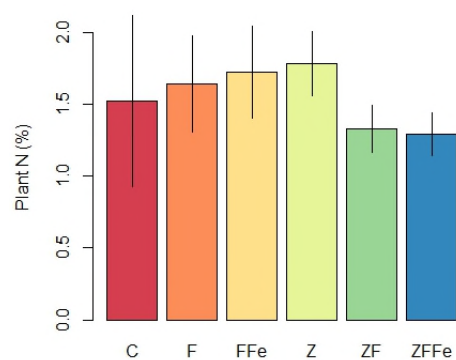
2015

**b) Stikstof (%) in de totale biomassa**

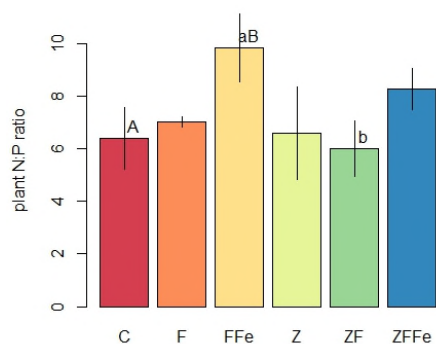
2014



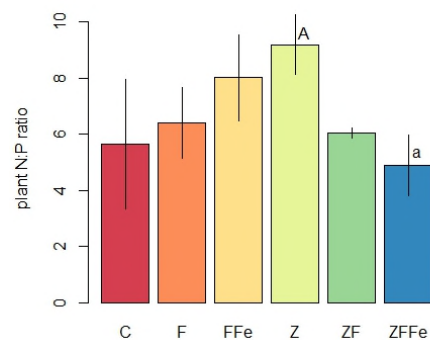
2015

**c) Stikstof : Fosfor ratio in de totale biomassa**

2014



2015

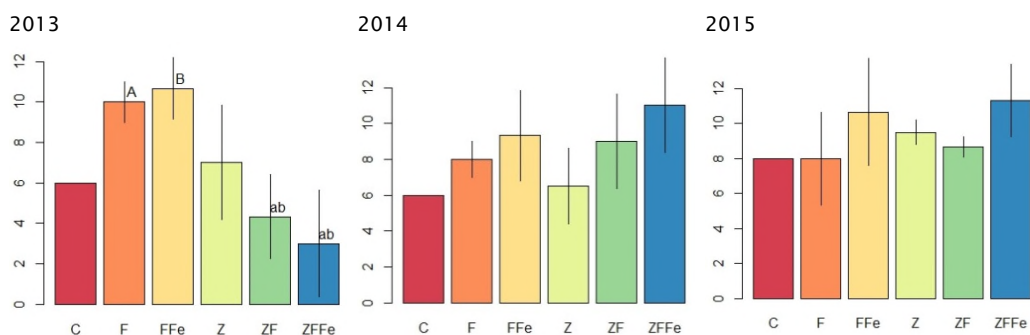


FIGUUR 2-13. CONCENTRATIES (%) VAN FOSFOR (A), STIKSTOF (B), EN DE STIKSTOF : FOSFOR RATIO IN G/G (C) IN BOVENGRONDSE BIOMASSA IN DE TOTALE BIOMASSA AAN HET EIND VAN HET 2^e (SEPTEMBER 2014) EN 3^e GROEISEIZOEN (SEPTEMBER 2015). DE WAARDEN ZIJN GEMIDDELDEN (N = 2 VOOR C EN Z, N=3 VOOR DE REST VAN DE BEHANDELINGEN) EN STANDAARDDEVIATIES. ZIE FIGUUR 2-12 VOOR DE AFKORTINGEN VAN DE BEHANDELINGEN.

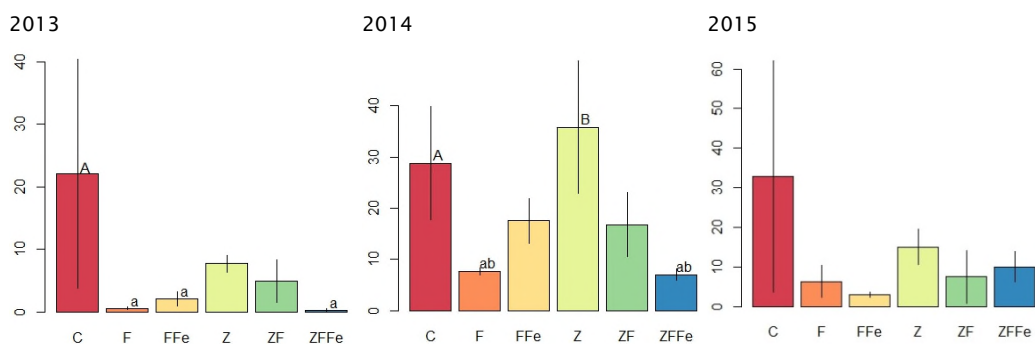
2.3.2.3 Plantensoorten

De toevoeging van ijzerslib leidde in de proefvlakken waar de zode niet verwijderd was binnen enkele maanden tot hogere aantallen plantensoorten (hoewel niet significant). Dit effect was ook na het 2^e en 3^e groeiseizoen nog waarneembaar (FFe in vergelijking tot F, Figuur 2-14). In de met ijzerslib behandelde proefvlakken waar de zode wel was verwijderd, was in het 2^e en 3^e groeiseizoen het aantal plantensoorten ook hoger (ZFFe t.o.v. ZF, Figuur 2-14).

Hoewel de gras:kruid ratio in vrijwel alle proefvlakken lager was dan in de controle proefvlakken, had de toevoeging van ijzerslib zelf geen duidelijk effect op deze ratio (Figuur 2-15). Opmerkelijk is de grote jaar tot jaar variatie van de gras:kruid ratio.



FIGUUR 2-14. AANTAL PLANTENSOORTEN (GRASSEN EN KRUIDEN) IN PROEFVLAKKEN VAN 2X2 M AAN HET EIND VAN HET 1^E (SEPTEMBER 2013), 2^E (SEPTEMBER 2014), EN 3^E GROEISEIZOEN (SEPTEMBER 2015). DE WAARDEN ZIJN GEMIDDELDEN (N = 2 VOOR 'C' EN 'Z', N=3 VOOR DE REST VAN DE BEHANDELINGEN) EN STANDAARDDEVIATIES. ZIE FIGUUR 2-12 VOOR DE AFKORTINGEN VAN DE BEHANDELINGEN.



FIGUUR 2-15. GRAS : KRUID RATIO AAN HET EIND VAN HET 1^E (SEPTEMBER 2013), 2^E (SEPTEMBER 2014), EN 3^E GROEISEIZOEN (SEPTEMBER 2015). DE RATIO WAS BEREKEND OP BASIS VAN DE BEDEKKINGSPERCENTAGES VAN BEIDE SOORTGROEPEN. DE WAARDEN ZIJN GEMIDDELDEN (N = 2 VOOR 'C' EN 'Z', N=3 VOOR DE REST VAN DE BEHANDELINGEN) EN STANDAARDDEVIATIES. ZIE FIGUUR 2-12 VOOR DE AFKORTINGEN VAN DE BEHANDELINGEN.

2.4 Samenvatting

In 2013 bleek de toediening van het ijzerslib bij de gevoerde methode een aantal problemen met zich mee te brengen. Zo bleek het Fe-gehalte van de bodem (bij gelijke behandelingen) meer gestegen te zijn in de proefvlakken die later in de tijd waren behandeld. Het is niet mogelijk gebleken te achterhalen wat hiervan de oorzaak was. Wellicht dat het ijzerslib in de tank van de mestinjecteur in de tijd is uitgezakt, wat tot een hogere concentratie Fe per liter heeft geleid. Goede menging van drinkwaterslib vooraf en tijdens het toedienen is derhalve van belang.

Ook was de uiteindelijk toegediende dosis niet in overeenstemming met de vooraf berekende dosis. Zo steeg het Fe-gehalte van de bodem meer dan berekend in de proefvlakken met zode, maar is juist te weinig Fe ingebracht in de proefvlakken waar de zode verwijderd was.

Eén van de onderzoeksvragen bij de start van deze pilot in 2013 was of voorafgaand aan het toedienen van drinkwaterslib, de zode verwijderd zou moeten worden. Aangezien het doel van deze maatregelen is om goede kiemings- en vestigingsomstandigheden te creëren voor doelsoorten, was de aanname dat het verwijderen van de zode waarschijnlijk een beter resultaat zou opleveren. Een nadeel hiervan zijn echter de kosten die met het verwijderen van deze zode gemoeid zijn. Ondanks bovengenoemde problemen met het toedienen van het ijzerslib, liet dit experiment zien dat in de proefvlakken waar de zode niet was verwijderd, na slechts drie maanden de gehele bodem alweer bedekt was. Na zode verwijdering was echter na 1 jaar nog kale grond aanwezig. Daarnaast bleek door frezen van de bodem, met name daar waar de zode niet was verwijderd, het N-gehalte van de vegetatie toegenomen te zijn. Dit is waarschijnlijk veroorzaakt door een tijdelijke toename van de stikstofmineralisatie als gevolg van verhoogde afbraak van organisch materiaal. Maar ook bevatte het slib in enige mate stikstof. De toegenomen stikstofbeschikbaarheid leidde, met name in de met ijzerslib behandelde proefvlakken waar de zode niet was verwijderd, tot een toename van ruigtesoorten als Gewone brandnetel en Akkerdistel (zie Bijlage tabel II). Op basis van deze resultaten was de conclusie dat het belangrijk is om de zode voorafgaand aan de toediening van drinkwaterslib te verwijderen.

Ondanks de bovengenoemde problemen met de dosering van het ijzerslib, waren in 2014 positieve effecten op de vegetatie waarneembaar. Zo was de biomassaproductie lager en de N:P (weliswaar niet significant) hoger. Deze verschillen waren in 2015 echter al minder duidelijk waarneembaar. Ook was de soortenrijkdom na het toedienen van het ijzerslib hoger dan in de controle situatie.

3 Onderzoek naar (meerjarige) effecten van drinkwaterslib op verschillende bodemtypen- Deel 2. Nieuwe proeflocaties

3.1 Doel en onderzoeksvragen

Het doel van het onderzoek in dit onderdeel was inzicht te verkrijgen in de effecten van de toepassing van drinkwaterslib (ijzerslib en ijzerkalkslib) op de bodemchemie en vegetatie (op verschillende bodemtypen). Hierbij stonden de volgende onderzoeksvragen centraal:

- Verlaagt het mengen van drinkwaterslib met fosfaat(P)-rijke bodems de P-beschikbaarheid in de bovenste bodemlaag?
- Is dit effect afhankelijk van het bodemtype (zand, lemig zand, veen)?
- Heeft de toepassing van drinkwaterslib een positief effect op de vegetatie (toename soortenrijkdom door creëren van schrale omstandigheden?)

3.2 Selectie van proefgebieden

Betrokken terreinbeherende organisaties zijn gevraagd om potentiële gebieden aan te leveren die geschikt zouden zijn voor het uitvoeren van drie veldproeven. Op basis van beschikbare bodemchemische gegevens, aangevuld met eigen nieuwe metingen, is uiteindelijk gekomen tot de selectie van drie gebieden. Hierbij is rekening gehouden met de volgende selectiecriteria:

- Geografische ligging: locaties dienen verspreid door het land te liggen
- Bodemtype: locaties dienen onderling te verschillen in bodemtype
- Vochtigheid: locaties dienen onderling te verschillen in vochtcondities.

De uiteindelijke gebieden varieerden van vochtig veen in het noorden van het land (Onnerpolder, nabij Groningen), via zand/klei in het midden van het land (Bloemkampen, nabij Harderwijk, naar (lemig) zand in het zuiden van het land (De Scheeken, nabij Best). In Figuur 3-1 is de ligging van deze gebieden weergegeven.



FIGUUR 3-1. OVERZICHT VAN DE LIGGING VAN ALLE PROEFLOCATIES DIE IN DIT ONDERZOEK ZIJN GEBRUIKT. HET PILOT ONDERZOEK IS GESTART IN DE GROOTE HEIDE/GROOT HUISVEN. OP LANDGOED MENTINK ZIJN DE VELDTESTEN MET DE ONTWIKKELDE INJECTEUR UITGEVOERD (ZIE HOOFDSTUK 4).

3.2.1 Onnerpolder

De Onnerpolder is in eigendom en beheer van Stichting Het Groninger Landschap. Het betreft een perceel op veengrond dat begraasd wordt door koeien. De vegetatie wordt sterk door grassen en grasachtigen gedomineerd, met soorten als Rietgras, Pitrus, maar ook komt Noordse zegge veelvuldig voor (Figuur 3-2). Voor de selectie van de meeste geschikte locatie binnen een perceel in de Onnerpolder werden op 19 mei 2015 op vier plaatsen grondmonsters genomen, en hierin werden de fosfaatverzadigingsgraad (PSI) en de fosfaat-beschikbaarheid (Pw) gemeten. Het bleek dat beide parameters sterk uiteenliepen binnen het perceel, wat mogelijk samenhangt met een proef die in het verleden op dit perceel is uitgevoerd door B-Ware. In Tabel 3-1 zijn deze resultaten opgenomen onder OP-1 t/m OP-4. Om een fosfaatrijke uitgangsground te krijgen, werd gekozen voor de aanleg op locatie OP-4, met $PSI=0.16$ en $Pw=16$. De berekende hoeveelheid ijzerslib die moest worden opgebracht was gebaseerd op deze waarden en op de chemische samenstelling van ijzerslib van winning De Punt (zie Tabel 3-2 en Tabel 3-4).

TABEL 3-1. RESULTATEN BODEMCHEMIE UIT DE VOORSELECTIE. * $PSI = P-OX / (AL-OX+FE-OX)$ [M/M];
** $PW = MG P2O5$ (L GROND).

	Al-ox mg/kg	Fe-ox mg/kg	P-ox mg/kg	PSI *	Pw **
<i>Streefwaarde</i>				2015 < 0.1	2015 < 10
OP-1	1132	22950	181	0.01	0
OP-2	1808	65145	3622	0.09	4
OP-3	535	63582	2139	0.06	12
OP-4	823	49455	4633	0.16	16



FIGUUR 3-2. BLIK OP DE ONNERPOLDER

3.2.2 Bloemkampen

In natuurgebied Bloemkampen nabij Hulshorst, in eigendom en beheer van Natuurmonumenten, zijn in 2015 tijdens de voorselectie vier verschillende percelen bezocht en bemonsterd. Op basis van de resultaten van de bodemchemische analyses is gekozen voor een perceel met de hoogste Pw en PSI waarden. De zandige bodem van dit perceel heeft een hoog kleigehalte. Dit perceel wordt verpacht en kent maaibeheer. De vegetatie is tamelijk soortenarm en wordt gedomineerd door grassen (Figuur 3-3).



FIGUUR 3-3. FOTO VAN PERCEEL TE BLOEMKAMPEN.

3.2.3 De Scheeken

De Scheeken, ten slotte, betreft een door Pitrus en grassen gedomineerd terrein in eigendom en beheer van Stichting Het Noordbrabants Landschap. De bodem bestaat uit zand met, op wisselende diepte, dunne leemlaagjes (Figuur 3-4).



FIGUUR 3-4. FOTO VAN PROEFGEBIED IN DE SCHEEKEN.

3.2.4 Toediening van ijzerslib

Voorafgaand aan het toedienen van het drinkwaterslib werd in Bloemkampen en De Scheeken de zode (0-5 cm) verwijderd (zie Tabel 3-3 voor overzicht van alle behandelingen per proefgebied). In de Onnerpolder is dit vanwege de organische toplaag niet gebeurd, maar daar is vooraf wel de vegetatie kort gemaaid. Op basis van de (tijdens voorselectie) gemeten bodemchemie en samenstelling van beschikbaar drinkwaterslib (Bijlage tabel III) is berekend welke dosis drinkwaterslib toegediend moest te worden om de streefwaarde voor P-beschikbaarheid te bereiken (Tabel 3-2). Alleen in Bloemkampen is behalve ijzerslib ook ijzerkalkslib toegediend.

TABEL 3-2. OVERZICHT VAN HOEVEELHEID EN HERKOMST OPGEBRACHT DRINKWATERSLIB PER LOCATIE.

Proefgebied	PSI (bodem)	Type en bron drinkwaterslib	Dikte opgebrachte sliblaag (cm/m ²)	Volume totaal/vlak (m ³)
Onnerpolder	0.16	Ijzerslib - De Punt	13.9	1.251
Bloemkampen	0.13	Ijzerslib - Terwisscha	1.7	0.153
		Ijzerkalkslib - Ellecom	3.8	0.342
De Scheeken	0.2	Ijzerslib - Vessem	0.9	0.081

Het drinkwaterslib werd opgebracht in proefvlakken van 3 x 3 m. Om te voorkomen dat het vloeibare drinkwaterslib buiten het proefvlak zou stromen, werden vooraf houten bekistingen aangebracht (Figuur 3-5).



FIGUUR 3-5. VOORBEELD VAN DE BEKISTING, HIER IN DE SCHEEKEN.

Vervolgens werd het drinkwaterslib hetzij handmatig vanuit grote vaten (De Scheeken) hetzij vanuit 1 m³-tanks die door kraanwagens werden opgetild (Onnerpolder en Bloemkampen), gelijkmatig over het oppervlak binnen de bekisting verdeeld (Figuur 3-6).



FIGUUR 3-6. TOEDIENING VAN DRINKWATERSLIB. LINKSBOVEN: HANDMATIG TE SCHEEKEN. RECHTSBOVEN EN LINKSONDER: M.B.V. KRAANVOERTUIGEN IN DE ONNERPOLDER EN BLOEMKAMPEN. RECHTSONDER : DRIE PROEFVLAKKEN MET IJZERSLIB EN DRIE MET IJZERKALKSLIB TE BLOEMKAMPEN.

In De Scheeken werd direct na het opbrengen van het ijzerslib gefreesd om het slib met de bovenste 15-20 cm van de bodem te mengen. In Bloemkampen en Onnerpolder was de weerstand van de bodem dermate hoog dat het ijzerslib niet direct de grond in zakte. In Bloemkampen is daarom pas na 1 week gefreesd en in de Onnerpolder is in eerste instantie helemaal niet gefreesd. Pas in 2016 is besloten om alsnog te gaan frezen. Het slib was toen als een oppervlakkige laag bovenop het maaiveld aanwezig en maar beperkt in de bodem ingetrokken. Uiteindelijk is in juli 2016 de helft van elk proefvlak in de Onnerpolder gefreesd.

3.2.5 Bemonstering nul situatie en na 1 jaar

Bodem

Direct na het opbrengen van het ijzerslib in 2015 zijn in elk proefvlak bodemonsters verzameld. In elk proefvlak is een mengmonster verzameld bestaande uit 10 steken van de bovenste 20 cm. In de zomerperiode 2016 is deze analyse herhaald. Op alle bodemonsters werden door het Chemisch Biologisch Laboratorium Bodem (WUR) onderstaande analyses uitgevoerd:

- Beschikbaar P: Pw (waterextractie in een 1:60 (v:v)- schudverhouding), waarbij tevens het volumegewicht (dichtheid) van het genomen monster werd vastgesteld. Een lagere dichtheid is een aanwijzing voor een hoger gehalte aan (relatief lichte) organische stof.
- P-Olsen: extractie met NaHCO_3 bij pH 8.5.

- Ammoniumoxalaat extraheerbaar P, Fe en Al (gehalten aan amorf Fe en Al, en daaraan gebonden P); hieruit werd de verzadigingsindex berekend: $PSI = P/(Fe+Al)$, waarbij gehalten aan P, Fe en Al in het oxalaatextract worden uitgedrukt in mMol/kg.
- In een extract met 0,01M $CaCl_2$, waarmee de directe beschikbaarheid van elementen wordt vastgesteld, werden de volgende totaalgehalten bepaald via ICP [noot: op T1 en T2 werden alleen de vetgedrukte elementen gemeten]: **Al, Fe, K, Mg, P, S**, As, Cd, Co, Cr, Cu, Ni, Pb, V, en Zn. Daarnaast werd in hetzelfde extract gemeten: pH, N-NH₄, N-(NO₃+NO₂), N-ts, P-PO₄ en TOC.
- In een extract met 0,43 M HNO₃ waarmee de totaal-beschikbare gehalten van elementen wordt vastgesteld, werden de volgende totaalgehalten bepaald via ICP: Al, As, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, K, Mg, Mn, Ni, P, Pb, S, en Zn.
- Na een destructie met HNO₃-HCL (aqua regia) werden in het destruaat de totaal gehalten van Al, Fe en P bepaald via ICP.
- Op T2 werden C- en N-elementair gemeten, en het organische stofgehalte via het gloeiverlies bij 550°C.

Het ijzerslib werd geanalyseerd op totaal Al, Fe en P, en op het gehalte aan droge stof zie Bijlage tabel III).

Vegetatie

Parallel aan het bodemchemisch onderzoek is ook een vegetatie-onderzoek uitgevoerd, gericht op het vaststellen van de invloed van ijzerslib op beperking van de fosfaatopname door planten. De effecten van de veranderingen in bodemchemie op de vegetatie-ontwikkeling worden op twee manieren bepaald:

- (1) Potenties voor vegetatieontwikkeling op basis van bodemchemie. Op basis van de fosfaatbeschikbaarheid worden potenties in beeld gebracht voor mogelijke plantengroei op de langere termijn.
- (2) Spontane vegetatieontwikkeling na 1 groeiseizoen. Uit de spontane vegetatieontwikkeling kan worden afgeleid wat de mogelijke natuurdoelen zijn die gerealiseerd kunnen worden. Hiertoe werden bij de start van het experiment in elk van de drie controle proefvlakken per proeflocatie in een subplot van 2 x 2 m een vegetatieopname gemaakt volgens Braun-Blanquet. Deze opnamen zijn na één jaar herhaald en ook is toen op gelijke wijze in de overige proefvlakken een vegetatieopname gemaakt.

Om de effecten van ijzerslib op de vegetatieontwikkeling te meten, zijn in 2016 de volgende variabelen bepaald:

- Soortensamenstelling, bedekkingspercentage, gras:kruid ratio;
- Bovengrondse biomassa van de kruidlaag;
- N-, P-, en C-gehalte in bovengrondse biomassa.

Analysemethode: De verzamelde biomassa (Subplot C en van Gestreepte witbol) werd 48 uur gedroogd bij 65 °C. Vervolgens werden de biomassa gewogen om drooggewicht (g/m²) te bepalen. Het gedroogde materiaal is fijngeknijpt, gemengd en gemalen (deels met de hand, en in geval van grassen vervolgens in een kogelmaler om fijn vezelloos poeder te verkrijgen). Een deel van het poeder is in tinnen cups ingewogen, verbrand en vervolgens zijn C- en N-gehalten bepaald op een Carlo Erba analyser (gaschromatograaf). Een ander deel van het poeder werd in gesloten teflon vaatjes gedestruëerd met salpeterzuur, gevolgd door een

standaard ICP analyse waarin concentraties aan Ca, Mg, P, K, S, Al, Mn, Si, K, en zware metalen zijn bepaald (zie Bijlage tabel IV voor detailbeschrijving).

Uitleggen maaisel

Alleen in De Scheeken is op 8 september 2016 in de helft van elk met ijzerslib behandeld proefvlak maaisel, afkomstig van een nabij gelegen soortenrijk grasland, opgebracht. Het doel hiervan was om enerzijds te toetsen of de bodem na opbrengen van ijzerslib geschikt is voor kieming en vestiging van schraallandsoorten, en anderzijds om het herstel van de soortenrijkdom te versnellen.

Bodemorganismen

Om eventuele (toxische) effecten van drinkwaterslib op kleine bodemorganismen te onderzoeken, is in 2016 in De Scheeken onderzoek verricht naar springstaarten. De methode en resultaten van dit onderdeel worden in hoofdstuk 8 beschreven.

TABEL 3-3. OVERZICHT VAN BEHANDELINGEN IN DE DRIE PROEFVLAKKEN

Proef-gebied	Voorbehandeling	Type slib	Nabewerking	Maaisel opgebracht?	Code behandelingen
Onner-polder	Maaien	Ijzerslib	Helft opp. elk proefvlak na 9 maanden gefreesd	Nee	C = controle M = maaien M+F = maaien + frezen MFe = maaien+ ijzerslib MFe+F = maaien+ ijzerslib+frezen
Bloem-kampen	Zode verwijderen	Ijzer- en ijzerkalkslib	Frezen na 1 week	Nee	C = controle Z = zode verwijderen ZFe = zode verwijderen+ijzerslib ZFeCa = zode verwijderen+ijzerkalkslib
De Scheeken	Zode verwijderen	Ijzerslib	Direct gefreesd	Ja, in helft van elk Fe-vlak.	C, Z, ZFe = als hierboven ZFeM = zode verwijderen +ijzerslib +maaisel

3.3 Resultaten

3.3.1 Bodemchemie

De doelen van de bodemchemische analyses waren (1) het selecteren van een geschikt (deel van) een perceel om een proef aan te leggen, (2) het bepalen van een dosis ijzerslib die zou moeten worden toegediend om de streefwaarde te bereiken van de beschikbaarheid van fosfaat, en (3) het volgen van die beschikbaarheid in de tijd: kort na toedienen van het slib en ca. 1 jaar na toedienen. Voor het bepalen van de dosis slib werden eerst waterwinlocaties geselecteerd waar bruikbaar slib te verwachten was, op basis van gemeten gehalten aan Fe, P en drogestof. Op basis van die gegevens werd de op te brengen dosis ijzerslib berekend. Tijdens het opbrengen van het ijzerslib bij de aanleg van de proef werden monsters genomen van het slib, die werden geanalyseerd. Uit een vergelijking van de analyseresultaten die waren gebruikt voor de berekening, en van de monsters verzameld tijdens het opbrengen, kan worden gekeken in hoeverre de opgebrachte dosis overeenkwam met de berekende dosis. Een samenvatting van de resultaten van die vergelijking voor de drie proeflocaties staat in Tabel 3-4. Voor het berekenen van de opgebrachte hoeveelheid Fe per m² werd een dichtheid van het slib aangenomen van 1.1 kg/L. Uit de tabel blijkt voor Onnerpolder dat 55 % meer Fe is opgebracht dan nodig was volgens de berekening. Voor Bloemkampen was dit 19 % meer via Fe-slib, maar daarentegen 53 % minder via FeCa-slib, en voor De Scheeken was het 28 % minder dan beoogd.

TABEL 3-4. BEREKENDE HOEVEELHEID FE DIE MET SLIB MOEST WORDEN OPGEBRACHT OP DE VERSCHILLENDE LOCATIES, MET DE FEITELIJKE HOEVEELHEID DIE IS OPGEBRACHT, BEREKEND OP BASIS VAN VERSCHILLEN IN GEHALTEN AAN FE EN DROGESTOF (D.S.).

Locatie / slib	Berekening		Opbrengen		Berekend cm slib	Berekend Fe kg/m ²	Opgebracht Fe * kg/m ²	Verschil % **
	Fe g/kg	d.s. %	Fe g/kg	d.s. %				
Onnerpolder / De Punt	341	5.3	369	7.6	13.9	2.76	4.29	+ 55
Bloemkampen / Terwisscha (Fe)	405	15	400	18	1.7	1.14	1.35	+ 19
Bloemkampen / Ellecom (FeCa)	219	9.2	243	3.9	3.8	0.84	0.40	-53
De Scheeken / Vessem	309	20.6	321	14.3	0.9	0.63	0.45	-28

* na correctie voor afwijkend gehalte aan Fe of d.s., voor Onnerpolder berekend volgens : $2.76 * (7.6/5.3) * (369/341) = 4.29$.

** procentueel verschil t.o.v. berekende hoeveelheid slib; voor Onnerpolder: $100 * (4.29 - 2.76) / 2.76$.

3.3.1.1 Onnerpolder

De toediening van ijzerslib verlaagde direct (2015) de Pw en de PSI van de proefvlakken ten opzichte van de controle vlakken, en deze verschillen waren na 1 jaar nog waarneembaar. Voor Pw was dit verschil ook significant (MFeF vs C; Tabel 3-5). De waarden voor Pw en PSI waren ook in 2016 nog ruim beneden de streefwaarden. De P-Olsen waarden lieten echter in 2016 een ander beeld zien. De P-Olsen waarden waren van alle behandelingen hoger dan van de controlevlakken, maar deze verschillen waren niet significant.

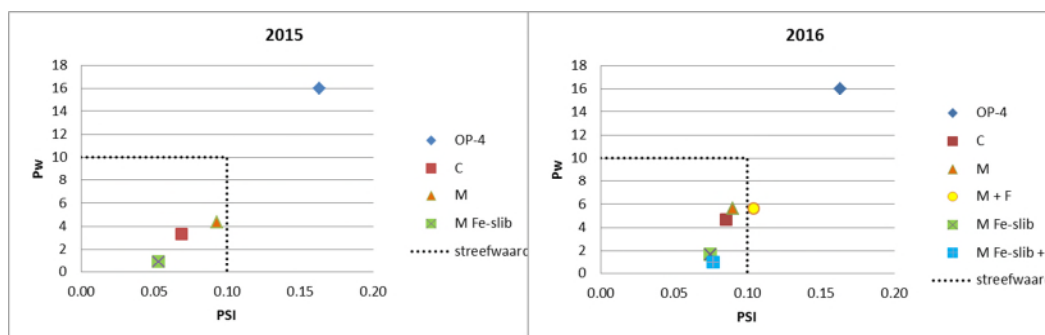
Uit deze resultaten bleek achteraf dat een te hoge dosis ijzerslib is toegediend. Uit behandelingen C en M (controle en gemaaide vlakken) blijkt dat in deze proefvlakken zowel Pw als PSI al duidelijk lager waren dan tijdens de voorselectie was gemeten (vergelijk C en M met OP-4 in Tabel 3-5). Hieraan werd nog verder bijgedragen door de hogere gehalten aan

Fe en d.s. in het opgebrachte slib t.o.v. de waarden die vooraf waren gebruikt voor de berekening van de op te brengen dosis.

TABEL 3-5. RESULTATEN BODEMCHEMIE IN 2015 (NUL-SITUATIE) EN 2016 IN ONNERPOLDER (VOOR PW EN PSI IS TUSSEN HAAKJES DE STANDAARD DEVIATIE WEERGEGEVEN). SIGNIFICANTE EFFECTEN T.O.V. CONTROLE ZIJN VET VERMELD. OP-4 BETREFT DE WAARDEN VAN DE LOCATIE UIT DE VOORSELECTIE. AAN DE BEHANDELINGEN M+F EN MFe+F ZIJN IN 2015 GEEN METINGEN VERRICHT. * PSI = P-OX / (AL-OX+FE-OX) [M/M]; ** PW = MG P2O5 (L GROND).

	PSI *	Pw **	PSI	Pw	P-Olsen
Streefwaarde	2015 < 0.1	2015 < 10	2016 < 0.1	2016 < 10	2016 (mg/L bodem)
C	0.07	3	0.09 (0.05)	4.7 (3.1)	7.9
M	0.09	4	0.09 (0.02)	5.7 (1.5)	11.8
M + F			0.10 (0.02)	5.7 (1.5)	12.3
MFe	0.05	1	0.08 (0.01)	1.7 (0.6)	9.6
MFe + F			0.08 (0.00)	1.0 (0.0)	10.1
OP-4 (voorselectie)	0.16	16			

In Figuur 3-7 is voor 2015 en 2016 de Pw (fosfaatbeschikbaarheid) uitgezet tegen de PSI, de fosfaatverzadigingsindex, voor alle behandelingen. Bij een afname van de PSI door het toedienen van ijzerslib wordt een afname gevonden van de Pw.



FIGUUR 3-7. VOOR ALLE BEHANDELINGEN IN DE ONNERPOLDER DE PW UITGEZET TEGEN DE PSI.

3.3.1.2 Bloemkampen

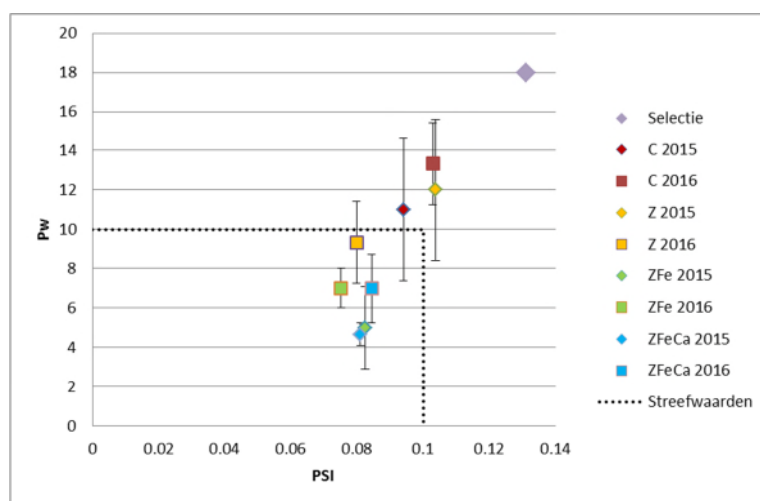
Zowel het toedienen van ijzerslib als van ijzerkalkslib had direct de gewenste, verlagende effecten op de Pw en PSI van de bodem ten opzichte van de controle proefvlakken (Tabel 3-6). Deze effecten waren ook na 1 jaar, in 2016 nog duidelijk waarneembaar en was dit verschil voor de Pw significant voor beide typen slib (ZFe en ZFeCa vs C). Voor PSI gold dit alleen voor ijzerslib (ZFe vs C). Voor beide slibsoorten geldt dat in 2016 de Pw licht was toegenomen ten opzichte van 2015. Mogelijk was het ijzer in het slib ten tijde van de monstername in 2015 nog niet geheel in evenwicht met de bodem. De gemiddelde P-Olsen was in 2016 ook significant lager bij beide slib behandelingen in vergelijking met de controle behandeling.

Ook het verwijderen van de zode (0-5 cm) leidde, met name na 1 jaar, tot een lagere Pw en significant lagere PSI en P-Olsen. Dit geeft aan dat een belangrijk deel van de fosfaatvoorraad zich in de bovenste, organische laag bevond.

Ook in Bloemkampen bleek het moeilijk om vooraf de correcte dosis drinkwaterslib te bepalen. Ook hier kwam dit enerzijds tussen verschillen in Pw en PSI tijdens de voorselectie en op het moment van uitvoeren (Tabel 3-6), en anderzijds doordat er uiteindelijk 19 % meer ijzer via het ijzerslib en 53 % minder ijzer via ijzerkalkslib is opgebracht dan vooraf was berekend (Tabel 3-4). Uit het feit dat desondanks gelijke waarden voor Pw werden gevonden, zou men kunnen opmaken dat FeCa-slib effectiever is dan Fe-slib. In Figuur 3-8 is voor alle proefvlakken de Pw uitgezet tegen de PSI.

TABEL 3-6. RESULTATEN BODEMCHEMIE IN 2015 (NUL-SITUATIE) EN 2016 IN BLOEMKAMPEN. GEMIDDELTE WAARDEN EN TUSSEN HAAKJES DE STANDAARD DEVIATIE ZIJN WEERGEGEVEN. SIGNIFICANTE EFFECTEN T.O.V. CONTROLE ZIJN VET VERMELD. * PSI = $P\text{-OX} / (AL\text{-OX} + Fe\text{-OX})$ [M/M]; ** PW = MG P2O5 (L GROND).

	PSI *	Pw **	PSI	Pw	P-Olsen
	2015	2015	2016	2016	2016 (mg/L bodem)
Streefwaarde	< 0.1	< 10	< 0.1	< 10	
Selectie	0.13	18	--	--	
C	0.10 (0.02)	12.0 (3.6)	0.10 (0.00)	13.3 (2.1)	40.0
Z	0.09 (0.02)	11.0 (3.6)	0.08 (0.00)	9.3 (2.1)	30.0
ZFe	0.08 (0.02)	4.7 (2.1)	0.08 (0.00)	7.0 (1.0)	29.0
ZFeCa	0.08 (0.01)	4.7 (0.6)	0.08 (0.01)	7.0 (1.7)	30.1



FIGUUR 3-8. VOOR ALLE BEHANDELINGEN IN BLOEMKAMPEN DE PW UITGEZET TEGEN DE PSI.

3.3.1.3 De Scheeken

Ook in De Scheeken had de toediening het beoogde effect op de fosfaatbeschikbaarheid. Zowel de PSI als de Pw waren direct na toediening in 2015 lager dan in de controle proefvlakken (ZFe-M vs C, Tabel 3-7). Deze effecten waren na 1 jaar, in 2016, ook nog waarneembaar, maar niet significant. Effecten op P-Olsen werden niet waargenomen. Anders dan in Bloemkampen waren zowel PSI als Pw na het verwijderen van de zode, hoger dan in de controle vlakken (Z vs C). Kennelijk bevindt het grootste deel van het beschikbare fosfaat zich in de diepere bodemlagen en juist niet in de organische toplaag.

In De Scheeken werd middels de toediening van ijzerslib de streefwaarde voor Pw wel, maar die voor PSI net niet bereikt. Hier kwamen de waarden van PSI en Pw van het controle proefvlak goed overeen met de waarden die waren gemeten tijdens de voorselectie (Tabel

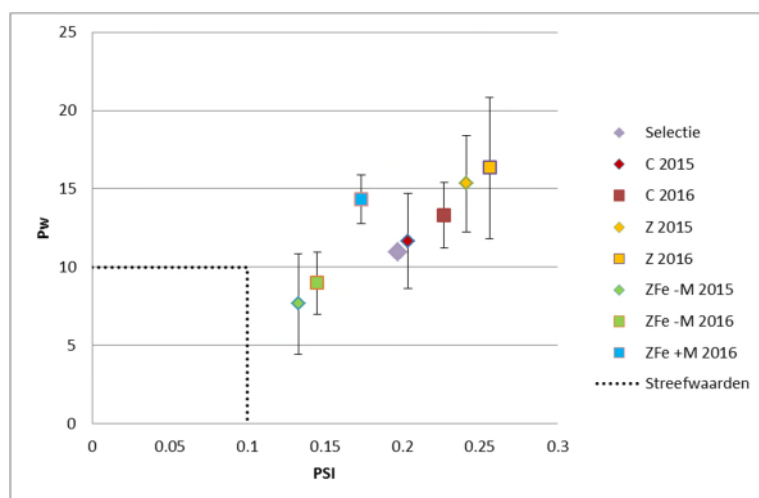
3-7). Waar vooraf geen rekening mee was gehouden, was dat verwijderen van de zode zou leiden tot een Pw en PSI die hoger zijn dan tijdens de selectie. Dit betekent dat eigenlijk meer ijzerslib had moeten worden toegediend. Uit Tabel 3-4 blijkt ook dat er, door een ca. 30 % lager gehalte aan drogestof in het toegediende slib, 28 % minder ijzer was toegediend dan volgens de berekening was gepland. Beide factoren kunnen waarschijnlijk verklaren dat de PSI niet de streefwaarde van < 0.1 heeft bereikt. Voor alle behandelingen geldt dat het ijzergehalte van de bodem sterk varieerde.

Op de helft van elk proefvlak waarop ijzerslib was aangebracht, werd maaisel toegediend (aangeduid met ZFe+M). In het proefvlak zonder maaisel was de Pw wel lager dan de streefwaarde (< 10), maar in 2016 was de Pw in het proefvlak met maaisel licht verhoogd t.o.v. het proefvlak zonder maaisel (14.3 vs. 12.7; Tabel 3-7). Mogelijk bevatte het maaisel gemakkelijk afbreekbaar fosfaat, wat, na afbraak, de Pw heeft verhoogd. In Figuur 3-9 is voor alle proefvlakken de Pw uitgezet tegen de PSI.

TABEL 3-7. RESULTATEN BODEMCHEMIE IN 2015 (NUL-SITUATIE) EN 2016 IN DE SCHEEKEN.

* PSI = $P\text{-OX} / (AL\text{-OX} + FE\text{-OX})$ [M/M]; ** PW = MG P2O5 (L GROND).

	PSI *	Pw **	PSI	Pw	P-Olsen
Streefwaarde	2015	2015	2016	2016	2016
	< 0.1	< 10	< 0.1	< 10	(mg/L bodem)
Selectie	0.20	11	--	--	
C	0.20 (0.04)	11.7 (3.1)	0.23 (0.03)	13.3 (2.3)	57.3
Z	0.24 (0.04)	15.3 (3.1)	0.26 (0.05)	16.3 (4.5)	66.6
ZFe -M	0.13 (0.03)	7.7 (3.2)	0.15 (0.06)	12.7 (5.7)	52.5
ZFe +M			0.17 (0.02)	14.3 (1.5)	52.0



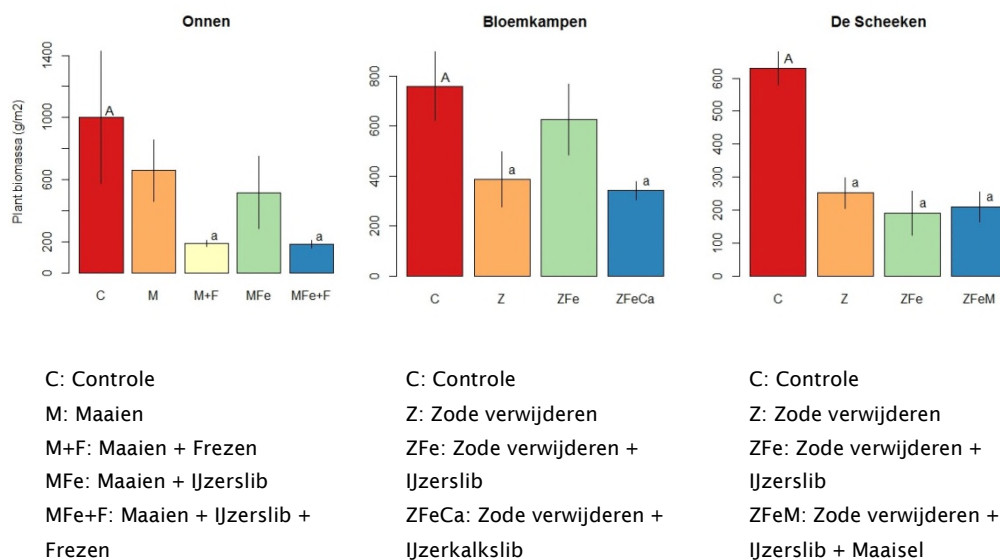
FIGUUR 3-9. VOOR ALLE BEHANDELINGEN IN DE SCHEEKEN DE PW UITGEZET TEGEN DE PSI.

3.3.2 Vegetatie

3.3.2.1 Biomassaproductie

Het was de verwachting dat de biomassaproductie in de proefvlakken als gevolg van de verlaagde fosfaat-beschikbaarheid in de bodem door de toevoeging van het drinkwaterslib,

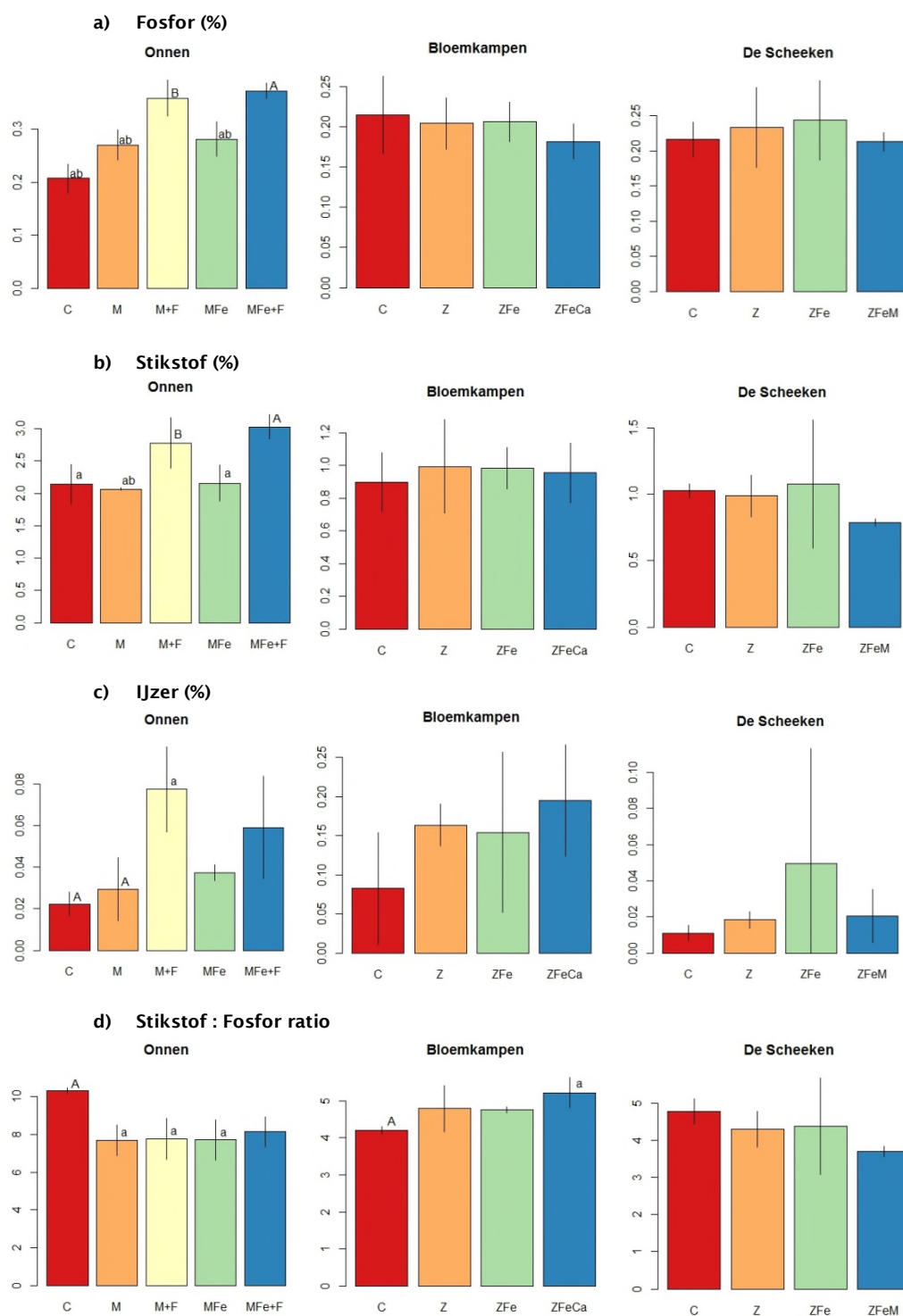
ook lager zou zijn dan in de controle behandelingen. Een eenduidig effect van drinkwaterslib op de biomassaproductie was echter niet zichtbaar. In de Onnerpolder heeft de toevoeging van ijzerslib de biomassaproductie na het eerste groeiseizoen niet verlaagd, noch in de gemaaide proefvlakken (vergelijk MFe met M), noch in de gemaaide en gefreesde proefvlakken (MFe+F t.o.v. M+F) (Figuur 3-10 links). In Bloemkampen heeft de toevoeging van ijzerslib na zodeverwijdering de biomassa zelfs verhoogd, hoewel het verschil niet significant was (ZFe t.o.v. Z). De toevoeging van ijzerkalkslib had geen invloed op de biomassaproductie (ZFeCa versus Z) (Figuur 3-10 midden). In De Scheeken had de toevoeging van ijzerslib geen invloed op de biomassaproductie (ZFe t.o.v. Z) (Figuur 3-10 rechts). In alle gebieden leidden het maaien of zode verwijderen (al dan niet in combinatie met de toediening van drinkwaterslib) wel tot een lagere biomassaproductie dan in de onbehandelde, controle proefvlakken. Zo resulteerde in de Onnerpolder het maaien in combinatie met frezen tot een significant lagere biomassa (Figuur 3-10 links). In Bloemkampen en in De Scheeken leidde het verwijderen van de graszode tot een significante verlagingen van de biomassa (Figuur 3-10 midden en rechts).



FIGUUR 3-10. BOVENSGRONDSE BIOMASSA (G DROOGGEWICHT/M²) VOOR ONNERPOLDER (LINKS), BLOEMKAMPEN (MIDDEN) EN DE SCHEEKEN (RECHTS). DE WAARDEN ZIJN GEMIDDELDEN (N = 3) MET STANDAARDDEVIATIES. DE BEHANDELINGEN MET GROTE EN KLEINE LETTERS ZIJN SIGNIFICANT VERSCHILLENDE (P<0.05 MET MULTIPLE COMPARISON TEST (TURKEY'S HSD)).

3.3.2.2 Nutriëntengehalte

Het fosforgehalte in de biomassa werd in geen van de drie proefgebieden verlaagd door de toevoeging van drinkwaterslib (Figuur 3-11 a). Er was ook geen significante invloed van de toevoeging van drinkwaterslib op het stikstofgehalte (Figuur 3-11 b) noch het ijzergehalte (Figuur 3-11 c). De N:P ratio, die een indicator kan zijn voor de limitatie van N of P op plantengroei (Koerselman & Meuleman 1996), was niet verhoogd door drinkwaterslib (Figuur 3-11 d). De N:P ratio was zelfs zeer laag voor alle behandelingen. Veel lager dan de grenswaarde van 16, wat zou wijzen op sterke N-limitatie, maar geen P limitatie.



FIGUUR 3-11. CONCENTRATIES (%) VAN FOSFOR (A), STIKSTOF (B), IJZER (C), EN DE STIKSTOF : FOSFOR RATIO (D) IN BOVENGRONDSE PLANTENBIOMASSA VOOR ONNERPOLDER (LINKS), BLOEMKAMPEN (MIDDEN) EN DE SCHEEKEN (RECHTS). DE WAARDEN ZIJN GEMIDDELDEN (N = 3) MET STANDAARDDEVIATIES. DE BEHANDELINGEN MET GROTE EN KLEINE LETTERS ZIJN SIGNIFICANT VERSCHILLENDE ($P < 0.05$ MET MULTIPLE COMPARISON TEST (TURKEY'S HSD)). ZIE FIGUUR 3-10 VOOR DE AFKORTINGEN VAN DE BEHANDELINGEN.

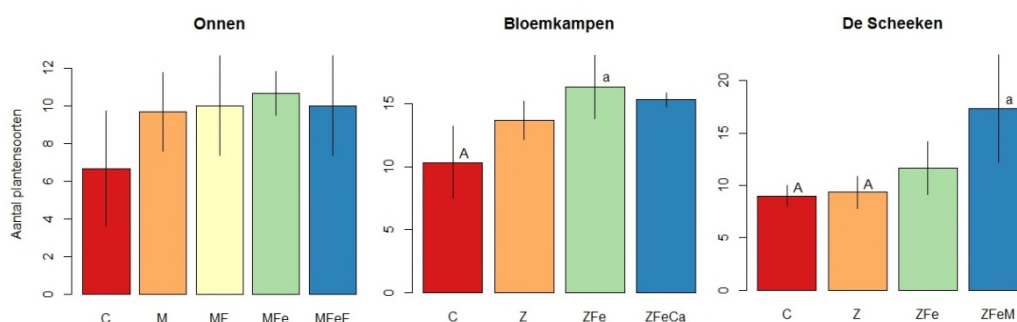
3.3.2.3 Soortenrijkdom

In het algemeen had de toevoeging van drinkwaterslib een positief (maar niet significant) effect op het aantal plantensoorten in de proefvlakken. In de Onnerpolder heeft de toevoeging van ijzerslib in de gemaaide proefvlakken het aantal plantensoorten iets verhoogd (MFe t.o.v. M) (Figuur 3-12 links). In Bloemkampen leidde de toevoeging van zowel ijzerslib als ijzerkalkslib tot een iets hoger aantal plantensoorten (ZFe en ZFeCa in vergelijking tot Z) (Figuur 3-12 midden). Ditzelfde beeld was zichtbaar in De Scheeken waar de toevoeging van ijzerslib het aantal plantensoorten licht verhoogde (ZFe t.o.v. Z) (Figuur 3-12 rechts).

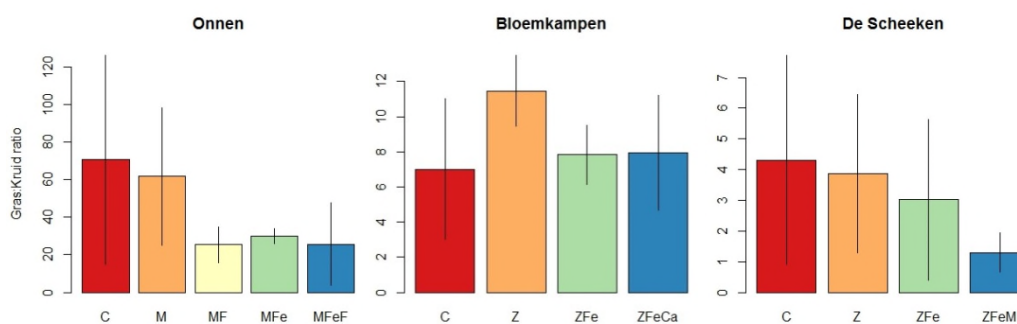
Het grootste effect op de soortenrijkdom had echter het uitleggen van maaisel. In de met ijzerslib behandelde proefvlakken waar ook maaisel was uitgelegd, was het aantal plantensoorten significant hoger dan in de andere proefvlakken (ZFeM t.o.v. Z) (Figuur 3-12 rechts). Soorten als Moeras-vergeet-me-nietje (*Myosotis palustris*), Brunel (*Prunella vulgaris*), Kleine klaver (*Trifolium dubium*), en Tijmeprijs (*Veronica serpyllifolia*) hadden zich vanuit het opgebrachte maaisel kunnen vestigen (zie Bijlage tabel II voor alle vegetatieopnamen).

Andere maatregelen hadden ook een positieve invloed op het aantal plantensoorten, alhoewel niet significant. Zo had maaien een positief effect op het aantal plantensoorten in de Onnerpolder (MF in vergelijking met C) (Figuur 3-12 links), en had zode verwijderen een positieve invloed op het aantal plantensoorten in Bloemkampen (Z t.o.v. C) (Figuur 3-12 midden).

De gras:kruid ratio (in percentage bedekking) is een andere belangrijke indicator van soortenrijkdom van graslanden. Een sterk bemest grasland wordt gedomineerd door snelgroeiende grassen ten koste van kruidachtige planten en heeft daardoor een hoge gras:kruid ratio. Bloemrijke schralere graslanden hebben juist een lage gras:kruid ratio. In dit experiment vertoonde de gras:kruid ratio in het algemeen een dalende (maar niet significante) trend na toevoeging van drinkwaterslib. In de Onnerpolder was de gras:kruid ratio het hoogst in de controle proefvlakken (C). Zowel de toevoeging van ijzerslib als frezen verlaagde de gras:kruid ratio (MFe en MF t.o.v. M), maar het toevoegen van ijzerslib had t.o.v. frezen geen extra effect (MFeF in vergelijking tot MF) (Figuur 3-13 links). In Bloemkampen en in De Scheeken waren de bedekkingspercentages van kruiden in de controle proefvlakken al relatief hoog (ca. 30%), vooral van Kruipende boterbloem (*Ranunculus repens*). In Bloemkampen verlaagde de toevoeging van ijzerslib en ijzerkalkslib de gras:kruid ratio (Figuur 3-13 midden). In De Scheeken was de gras:kruid ratio iets lager in proefvlakken waar ijzerslib was toegevoegd in vergelijking tot proefvlakken zonder ijzerslib, vooral in combinatie met het uitleggen van maaisel (Figuur 3-13 rechts).



FIGUUR 3-12. AANTAL PLANTENSOORTEN (GRASSEN EN KRUIDEN) IN PROEFVLAKKEN VAN 2X2 M VOOR ONNERPOLDER (LINKS), BLOEMKAMPEN (MIDDEN) EN DE SCHEEKEN (RECHTS). DE WAARDEN ZIJN GEMIDDELDEN ($N = 3$) MET STANDAARDDEVIATIES. DE BEHANDELINGEN MET GROTE EN KLEINE LETTERS ZIJN SIGNIFICANT VERSCHILLEND ($P < 0.05$ MET MULTIPLE COMPARISON TEST (TURKEY'S HSD)). ZIE FIGUUR 3-10 VOOR DE AFKORTINGEN VAN DE BEHANDELINGEN.



FIGUUR 3-13. GRAS : KRUID RATIO VOOR ONNERPOLDER (LINKS), BLOEMKAMPEN (MIDDEN) EN DE SCHEEKEN (RECHTS). DE RATIO WAS BEREKEND OP BASIS VAN DE BEDEKKINGSPERCENTAGES VAN BEIDE SOORTGROEPEN. DE WAARDEN ZIJN GEMIDDELDEN ($N = 3$) MET STANDAARDDEVIATIES. ER WAREN GEEN SIGNIFICANT VERSCHIL TUSSEN DE BEHANDELINGEN ($P > 0.05$ MET MULTIPLE COMPARISON TEST (TURKEY'S HSD)). ZIE FIGUUR 3-10 VOOR DE AFKORTINGEN VAN DE BEHANDELINGEN.

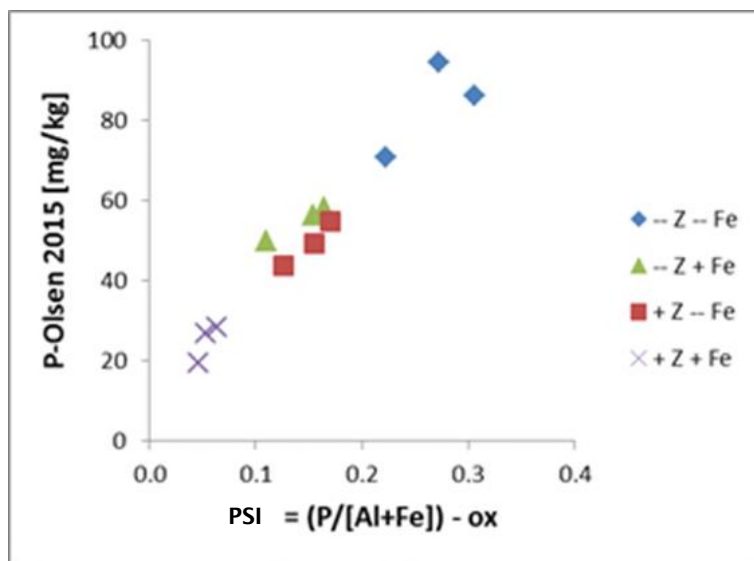
3.4 Samenvatting

In dit hoofdstuk zijn de resultaten beschreven van ons onderzoek naar de effecten van de toepassing van drinkwaterslib (ijzerslib en ijzerkalkslib) op de bodemchemie en vegetatie (op verschillende bodemtypen).

De effecten van de toediening van drinkwaterslib laten in de drie proefgebieden niet een eenduidig beeld zien. Gemiddeld genomen kan worden gesteld dat zowel het ijzer- als ijzerkalkslib een verlaging van de fosfaatbeschikbaarheid (P_w) en fosfaatverzadigingsgraad (PSI) tot gevolg heeft. Deze effecten waren op alle drie de onderzochte bodemtypen waarneembaar: op veen (Onnerpolder), op zand met hoog kleigehalte (Bloemkampen), en op lemig zand (De Scheeken). Deze effecten waren ook na 1 jaar nog zichtbaar.

Anders dan de P_w en PSI laten de P -Olsen-waarden een minder eenduidige reactie zien na de toediening van drinkwaterslib. Alleen in Bloemkampen hadden de behandelingen een significant verlagend effect op P -Olsen (alleen zode verwijdering ook overigens). In De

Scheeken was er geen effect en in de Onnerpolder hadden alle behandelingen een (niet significant) verhogend effect. Uit een vergelijking van de mate waarin door ijzerbehandeling een afname optrad in PSI, P-Olsen en Pw, bleek dat Pw sterker daalde door slib dan P-Olsen. Pw lijkt dus gevoeliger te zijn voor deze behandeling dan P-Olsen. Echter, afgaande op data uit het pilot experiment in de Groote Heide, blijkt dat met een daling van de PSI ook P-Olsen afneemt (Figuur 3-14). Wellicht dat de relatief lage pH van de drie onderzochte terreinen (pH 4-5 in Onnen en De Scheeken, en pH 5-6 in Bloemkampen), van invloed is op de betrouwbaarheid van P-Olsen-waarden die bij een extractie bij een pH van 8.5 worden bepaald. Deze waarden lijken de P-beschikbaarheid te overschatten.



FIGUUR 3-14. VERGELIJING TUSSEN P-OLSEN WAARDEN IN RELATIE TOT DE PSI, GEBASEERD OP DATA VAN DE PILOT IN GROOTE HEIDE (2015).

Het blijkt echter zeer moeilijk om de benodigde dosis drinkwaterslib goed te berekenen en de beoogde streefwaarden voor P is dan ook niet overal bereikt. De belangrijkste redenen hiervoor zijn:

- De benodigde dosis drinkwaterslib is bepaald op basis van de bodemchemische gegevens zoals die waren bepaald tijdens de voorselectie. Er bleek echter een (soms zeer) groot verschil te bestaan tussen die waarden en de waarden van de controle proefvlakken op het moment van inzetten van de experimenten.
- Ook de chemische samenstelling van het drinkwaterslib blijkt beperkt constant in de tijd te zijn, en dan met name het drogestof-gehalte. Aangezien deze parameter een zeer belangrijke factor in de berekening van de dosis drinkwaterslib is, leidt een kleine variatie al tot een inaccurate dosis.
- De heterogeniteit in fosfaatbeschikbaarheid is vermoedelijk zeer groot. Hoewel wij hier niet in detail onderzoek naar hebben gedaan binnen dit project, laten de verkregen resultaten zien dat de variatie tussen proefvlakken (zeer) groot is. De berekende dosis drinkwaterslib betreft een gemiddelde dosis en is niet toegespitst op een dergelijke grote heterogeniteit.

Gezien bovenstaande afwijkingen is het dan ook niet vreemd dat de reactie van de vegetatie op het toedienen van het drinkwaterslib beperkt was. De grote heterogeniteit in P-beschikbaarheid in de bodem, ook na het toedienen van drinkwaterslib, was dermate hoog dat de planten vermoedelijk goed in staat waren om voldoende P op te nemen. Het P-gehalte

van de biomassa was dan ook niet lager na toedienen van het slib en de N:P ratio in de biomassa wees eerder op N- dan op P-limitatie. Het uitleggen van maaisel in De Scheeken toonde overigens aan dat het doorbreken van de dominantie door grassen (door het verwijderen van de graszode) zorgde voor goede kiemings- en vestigingscondities voor soorten van schrale graslanden. Of het toedienen van ijzerslib daar een aanvullend effect op had, hebben we niet kunnen onderzoeken.

Op basis van de P-beschikbaarheid aan het eind van deze experimenten, kan een voorspelling worden gedaan voor de potenties voor vegetatie ontwikkeling in deze proefvlakken. Wanneer we kijken naar de P-Olsen concentraties in de drie proefgebieden (Tabellen 3-5, 3-6 en 3-7) en die vergelijken met referentiewaarden voor verschillende natuurdoeltypen (Tabel 3-8), is te zien dat deze P-waarden nog te hoog zijn voor schralere natuurdoeltypen, maar dotterbloemhooiland, goed ontwikkelde natte ruigten of bloemrijk grasland wel tot de mogelijkheden behoren. Hierbij dient nog de kanttekening te worden gemaakt dat de gemeten P-Olsen waarden de P-beschikbaarheid lijken te overschatten en de werkelijke omstandigheden nog wat schraler zijn.

TABEL 3-8. P-OLSEN EN TOTAAL-P REFERENTIEWAARDEN VOOR VERSCHILLENDE NATUURDOELTYPEN.

Natuurdoeltype	Olsen-P (umol/l bodem)	totaal-P (mmol/l bodem)
Droge heide	100-500	0.5-2.5
Natte heide	100-500	0.5-2.5
Kalkgrasland	100-300	2-10
Droog heischraal grasland	100-350	1-5
Nat heischraal grasland	150-400	1-5
Kleine zeggenmoeras (Verbond van Zwarte zegge)	100-500	1-6
Blauwgrasland	200-500	2-10 (tot 20)
Glanshaverhooiland	300-800	10-30
Dotterbloemhooiland	300-800 (tot 1200)	8-20 (tot 50)
Grote zeggenmoeras	300-800 (tot 1200)	8-20 (tot 50)
Goed ontwikkelde natte ruigte	400-1000	5-20 (tot 100)
Bloemrijk grasland	800-1200	10-20

Hoewel het toedienen van drinkwaterslib op de drie onderzochte bodemtypen op de P-beschikbaarheid dezelfde positieve effecten had, waren er wel grote verschillen wat betreft het toedienen zelf. Op de relatief droge zandgrond van de Scheeken, kon het ijzerslib gemakkelijk middels frezen met de bodem worden gemengd. Hierbij speelde mee dat een beperkte hoeveelheid ijzerslib diende te worden opgebracht (0.9 cm/m²). Op de kleiige zandbodem van Bloemkampen, trok het drinkwaterslib vanwege de beperkte doorlatendheid, slecht de bodem in. Het was daardoor niet mogelijk om direct na het toedienen het slib door frezen met de bodem te mengen. Op de vochtige veenbodem van de Onnerpolder speelde dit nog sterker. Aangezien in dit gebied bovendien een zeer hoge dosis ijzerslib moest worden opgebracht (13.9 cm/m²), zat er veel tijd tussen het opbrengen van het ijzerslib en mengen ervan met de bovenste bodemlaag. Ondanks genoemde verschillen in toegediende dosis drinkwaterslib tussen deze gebieden, lijkt de vochtconditie van de bodem een belangrijke factor voor het succes van het toedienen van drinkwaterslib. Wij adviseren daarom vooralsnog om drinkwaterslib vooral op drogere zandgronden op te brengen.

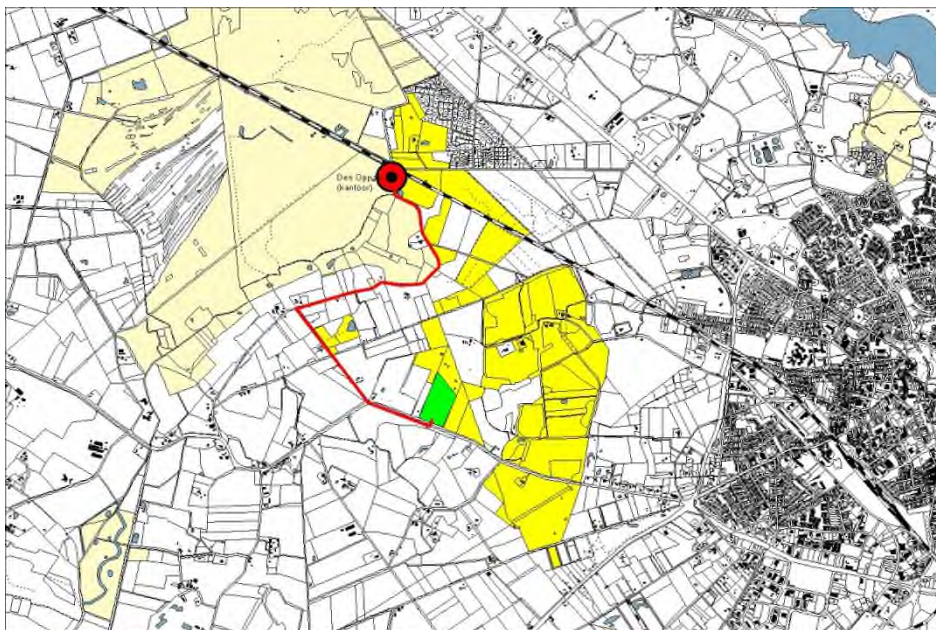
4 Onderzoek naar techniek van opbrengen drinkwaterslib

4.1 Doel en onderzoeksvragen

Het doel van deze onderzoekslijn was het ontwikkelen van een machine (met een “zodebemester” als uitgangspunt) die met minimale bodemdruk, goede menging en constante dosering drinkwaterslib kan opbrengen ongeacht de consistentie van het slib. Hierbij dient de bodem zo min mogelijk verstoord te worden (het drinkwaterslib wordt niet door bijvoorbeeld frezen met de bodem gemengd) en het drinkwaterslib in één bewerkingsgang te worden ingebracht.

4.2 Aanpak

Onderzoek naar de techniek van het opbrengen van het drinkwaterslib is uitgevoerd op Landgoed Mentink, een natuurgebied nabij Winterswijk en in eigendom en beheer van Natuurmonumenten (Figuur 3-1 en Figuur 4-1). Dit perceel, dat sterk gedomineerd wordt door grassen (met name door Gestreepte witbol (Figuur 4-2), is circa 20 jaar uit agrarische productie maar kent nog altijd een P-beschikbaarheid ($P_w = 67 \text{ mg P}_2\text{O}_5/\text{l grond}$, $\text{PSI} = 0.38$) die veel hoger is dan de streefwaarden voor bloemrijke graslanden (resp. 10 en 0.10 voor P_w en PSI). Op basis van deze gegevens is de dosis op te brengen ijzerslib bepaald.



FIGUUR 4-1. LOCATIE VAN ONDERZOEKSGBIED LANDGOED MENTINK (DIRECT RECHTS VAN GROEN WEERGEGEVEN PERCEEL; BRON: NATUURMONUMENTEN).



FIGUUR 4-2. PERCEEL WORDT GEDOMINEERD GESTREEPTE WITBOL.

Op 23 september 2015 is deze veldproef ingericht. Van een rechthoek van 20 bij 25 m is van de helft (10 x 25 m) allereerst de zode (0-5 cm) verwijderd (Figuur 4-3). Binnen het proefvlak zijn vijf proefstroken aangelegd, elk 20 m lang en ca. 3 m breed, zodanig dat alleen van de oostelijke helft van elke strook de zode verwijderd was.



FIGUUR 4-3. SCHEMATISCHE WEERGAVE INRICHTING PROEFVLAKKEN.

Net ten noorden van dit proefvlak is in een vlak van 2 x 2 m een vegetatie opname gemaakt. Het ijzerslib werd over de gehele strook opgebracht. Hiertoe reed een trekker met speciaal ontworpen messen (zie Figuur 9-1) en injectiespuiten gelijk op met een tankwagen gevuld met ca. 12 m³ ijzerslib. Het ijzerslib was afkomstig van productiebedrijf Eibergen (Vitens; zie Bijlage tabel V voor samenstelling van dit slib). De effecten van het ijzerslib op de bodemchemie werd op dezelfde wijze bepaald als in paragraaf 3.2.5 is besproken, met het verschil dat voor fosfaat nu alleen de Pw en PSI zijn bepaald.



FIGUUR 4-4. A) INBRENGEN VAN HET IJZERSLIB OP HET DEEL ZONDER ZODE. B) ZICHT OP DE VIJF PROEFSTROKEN VANAF OOSTELIJKE ZIJDE.

4.3 Resultaten

4.3.1 Techniek toepassing

Op 23 september 2015 is op Landgoed Mentink de eerste praktijktest uitgevoerd. Voorafgaand aan deze test was de speciaal ontworpen machine reeds met succes getest op agrarisch grasland. De sterk doorwortelde graszode van Landgoed Mentink bleek echter onvoldoende te worden doorsneden door de dubbele rij messen. Hierdoor werd de zode meegetrokken en hoopte zich tussen de messen op (Figuur 4-5) en ontstonden er kuilen in de grasmatt. Het ijzerslib werd overigens wel op een goede manier onder de zode ingebracht. Verschillende aanvullende maatregelen, zoals vooraf maaien, verdichten van de bodem, gebruik van slechts één rij messen, en gebruik van beitels in plaats van de bredere ganzenvoeten als messen, zijn vervolgens getest. Op basis hiervan is de machine vervolgens aangepast.



FIGUUR 4-5. GRASZODE TE LANDGOED MENTINK WERD NIET GOED DOORSNEDEN EN HOOPT ZICH OP TUSSEN DE MESSEN.

Op 22 juni 2016 vond de tweede veldtest plaats, deze keer met aangepaste messen. Met deze uitgebreide snijvlakken werd de zode wel goed doorsneden en het ijzerslib goed en tot de gewenste diepte van 15-20 cm ingebracht (Figuur 4-6).

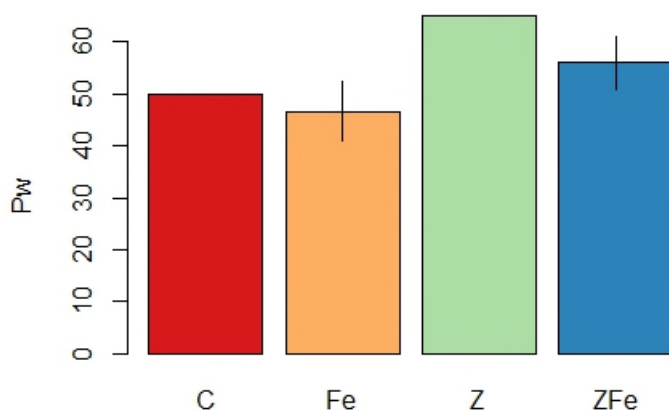


FIGUUR 4-6. HET IJZERSLIB WERD IN PARALLELE SNEDES TUSSEN EN ONDER DE GRASZODE AANGEBRACHT (LINKS). OP DE RECHTERFOTO IS TE ZIEN DAT HET IJZERSLIB TOT EEN DIEPTTE VAN 15-20 CM IS INGEBRACHT.

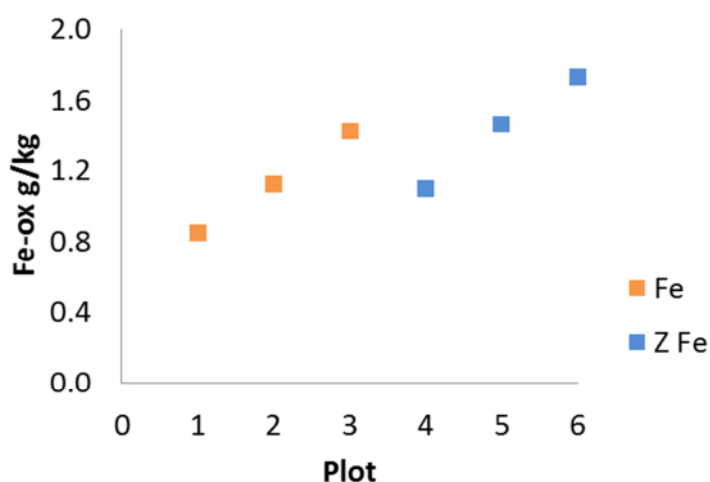
4.3.2 Bodemchemie

4.3.2.1 Eerste veldtest

Niet alleen wat de techniek betreft, was de eerste veldtest met de ontwikkelde machine geen succes, ook wat effecten op de bodemchemie was er sprake van een tegenvaller. Het ijzerslib, afkomstig van pompstation Eibergen bleek na analyse een drogestofgehalte te hebben van 0.97% in plaats van de normale waarde voor slib van dit pompstation van 20-25%. Ondanks de gunstige PSI van het slib (0.03) had het opbrengen van het drinkwaterslib dan ook nauwelijks een gunstig effect op de P-beschikbaarheid van de bodem (Figuur 4-7). De variatie in Fe-ox gehalte varieerde tussen de proefvlakken sterk (Figuur 4-8).



FIGUUR 4-7. EERSTE VELDTTEST: EFFECT OP P-BESCHIKBAARHEID (PW) VAN HET OPBRENGEN VAN IJZERSLIB IN CONTROLE SITUATIE (BLANCO) EN NA VERWIJDEREN VAN DE ZODE.

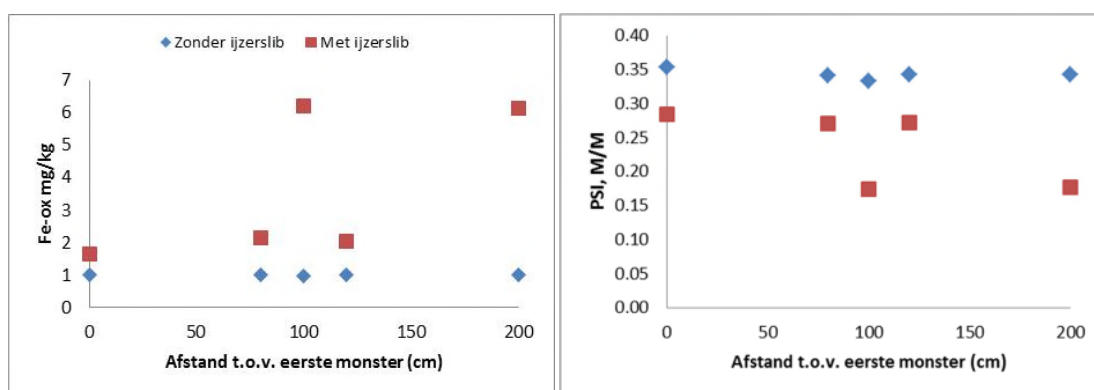


FIGUUR 4-8. VARIATIE IN FE-OX GEHALTE IN DE PROEFVLAKKEN MET EN ZONDER ZODE.

Vanwege deze onvoorzien ongewenste samenstelling van het ijzerslib, hebben wij geen onderzoek meer verricht naar mogelijke effecten van de toepassing van ijzerslib op de vegetatie.

4.3.2.2 Tweede veldtest

Tijdens de tweede veldtest is het ijzerslib op de gewenste wijze onder de zode ingebracht. Ongeveer drie maanden na het opbrengen, is in twee transecten (één met en één zonder ijzerslib) haaks op de rijrichting tijdens het opbrengen van het slib, de bodemchemie bepaald. Uit Figuur 4-9 blijkt dat het Fe-ox gehalte en de PSI van de bodemonsters in het transect zonder ijzerslib over een afstand van 2 m vrij constant te zijn. Het opbrengen van het ijzerslib, in dit terrein zonder het ijzerslib middels frezen met de bodem te mengen, heeft geleid tot een toename van het Fe-ox gehalte en daling van de PSI, maar de mate waarin varieerde zeer sterk (zie Figuur 4-9). Deze variatie is ook op zeer korte afstand zeer hoog. De streefwaarde voor PSI van 0.1 werd overigens in geen van deze monsters bereikt (wat ook gold voor de Pw-waarden, gegevens hier niet getoond), maar dat kan worden verklaard doordat deze tweede test vooral gericht was op het inbrengen van het ijzerslib, en in mindere mate op het toedienen van de juiste dosis om de streefwaarden te bereiken.



FIGUUR 4-9. FE-OX GEHALTE EN PSI IN TWEE TRANSECTEN MET EN ZONDER IJZERSLIB.

4.4 Samenvatting

Uitgangspunt van dit deelonderzoek was om het drinkwaterslib met zo min mogelijk verstoring van de bodem in te brengen. De te ontwikkelen machine diende ook zonder het vooraf verwijderen van de zode, het drinkwaterslib op een effectieve wijze in de bodem aan te kunnen brengen. Aangezien het slib niet door middel van frezen, wat de bodemstructuur aantast, met de bodem gemengd zou worden, moest de machine het slib zelf zo goed mogelijk in de bodem verspreiden.

Dit experiment heeft aangetoond dat de mate van doorworteling van de zode van invloed is op de te gebruiken messen. Graslanden die recent in agrarisch gebruik zijn geweest, hebben een relatief ondiepe doorworteling. Hier volstaan de “ganzenvoeten” die in de eerste veldtest zijn gebruikt. Is het grasland echter geruime tijd uit agrarische productie en heeft er sindsdien weinig tot geen bodembewerking plaatsgevonden, dan kan worden verwacht dat de bodem sterk en diep doorworteld is. In dat geval zijn messen met extra snijvlakken noodzakelijk, zoals in de 2^e veldtest zijn gebruikt.

De dosis van de toe te dienen vloeistof (in dit geval drinkwaterslib) kan bij moderne injecteurs zeer nauwkeurig worden ingesteld. Hier zit echter wel een bovengrens aan, die wordt ingegeven door een combinatie van de minimale rijsnelheid en de benodigde druk voor injectie. Op terreinen waarbij de toe te dienen dosis drinkwaterslib hoger is dan wat technisch mogelijk is, zal daarom een herhaalbehandeling noodzakelijk zijn. Dit zal vermoedelijk niet op korte termijn na de eerste behandeling mogelijk zijn, aangezien het drinkwaterslib eerst in de bodem zal moeten intrekken. Wij hebben naar dit aspect verder geen onderzoek gedaan.

De injectorpoten zaten op een onderlinge afstand van ca. 25 cm. Aan elke injectorpoot was een sproeibuis bevestigd die het ijzerslib breedwerpig verdeelde. Het was de vraag of deze afstand klein genoeg was om het drinkwaterslib op een gelijkmatige manier in de bodem aan te brengen. Uit Figuur 4-9 blijkt dat de variatie in Fe-ox gehalte echter vrij groot is. De horizontale verdeling van het drinkwaterslib, en de menging van het slib door de bodem, is duidelijk minder dan met frezen kan worden bereikt. Daar staat tegenover dat de bodemstructuur op deze wijze intact is gebleven.

De uitkomst van beide veldtesten is dat een “prototype” is ontwikkeld die met succes drinkwaterslib in de bodem kan inbrengen, ongeacht de mate van doorworteling.

5 Effecten op bodemorganismen

5.1 Introductie

Het belang van een goede bodemkwaliteit, met een gezonde bodemmesofauna gemeenschap, wordt door meer en meer terreinbeheerders onderschreven. Onder bodemmesofauna wordt hier bedoeld: ongewervelden met een grootte tussen 0.1 mm en 2mm, die in de bodem leven, of voorkomen in de strooisellaag op de bodem.

Het is niet ondenkbaar dat het mengen van drinkwaterslib met de bodem effect heeft op de samenstelling en/of activiteit van deze mesofauna. Om meer inzicht te krijgen in deze potentiële effecten, is voor dit onderzoek één soortgroep geselecteerd, de springstaarten (*Collembola*). Joost Vogels van Stichting Bargerveen heeft in zowel de Groote Heide als in De Scheeken analyses aan springstaarten verricht. Onderstaande paragrafen doen verslag van zijn bijdrage.

5.2 Achtergrondinformatie springstaarten

Kennis over de activiteit, dichtheid en samenstelling van de bodemmesofauna gemeenschap geeft inzicht in de belangrijkste omvormingsprocessen in de bodem. Binnen springstaarten kan onderscheid gemaakt worden in het substraat waarin bepaalde soorten of soortgroepen leven. Deze verschillende aanpassingen aan substraatvormen zijn grofweg onderscheidbaar naar diepte waarin deze organismen leven: op de bodem en/of vegetatie, in strooisellagen, of dieper in de bodem.

Grofweg kan gesteld worden dat de soorten die op of in de toplaag van de bodem voorkomen met name van belang zijn bij het omvormen van ruw strooisel naar meer gefragmenteerde humus, en dat soorten die dieper in de bodem leven daaropvolgend deze gefragmenteerde humusvormen nog verder verfijnen en afbreken. Springstaarten vervullen een belangrijke rol in de omzetting van strooisel naar fijnere humusvormen en dragen substantieel bij aan het stimuleren van de afbraak van organisch materiaal. Hierdoor beïnvloeden zij de snelheid van het weer beschikbaar komen van voedingstoffen die zijn vastgelegd in organische stof. Ook beïnvloeden ze de richting van bodemvormende processen: een hoge activiteit van springstaarten leidt tot een betere fragmentatie en afbreekbaarheid van strooisel en humuspartikels, waardoor ophoping van strooisel en/of ruw organisch materiaal niet optreedt. Een eventuele remming in de groei en activiteit van de bodemmesofaunagemeenschap als geheel kan een belangrijke vertraging in de ontwikkeling van het tot doel gestelde habitattype betekenen. Een eventuele remming in groei en reproductie van een van de functionele groepen kan bovendien leiden tot ophoping van hetzij strooisel, gefragmenteerde humus of fijnere humuspartikels.

Uit eerder onderzoek blijkt dat het na ontgronden zeer lang kan duren voordat de bodemmesofaunagemeenschap zich kan herstellen, en dat het inbrengen ervan ook problemen met zich mee brengt (condities zijn vaak jaren nog ongeschikt als gevolg van de uitgangssituatie na ontgronden). Onbekend is in welke mate een overmaat fosfaat invloed uitoefent op de samenstelling van de bodemmesofauna, en of deze door vastlegging met behulp van ijzerslib verandert. Ook is onbekend of, en in welke mate een eenmalige toediening van ijzerslib een negatief effect uitoefenen op de bodemmesofaunagemeenschap. In hoge concentraties kan ijzer een negatief effect uitoefenen op de voedingsactiviteit en groei van *Collembola*. Veel bodemorganismen kunnen metalen accumuleren in hun weefsels,

en het ijzergehalte van springstaarten is doorgaans hoger in bodems met hoge ijzerconcentraties (Janssen & Hogervorst, 1993). Springstaarten zijn evenwel in staat om (zware) metalen op te slaan in het darmwandepitheel, welke zij bij de volgende vervelling uitscheiden als pellet (Hopkin, 1997). Toch maakt dit deze organismen niet immuun voor hoge concentraties ijzer, aangezien er ook metabolische kosten aan het omgaan met overmaten aan metalen zijn verbonden. In laboratoriumproeven traden negatieve effecten op de voedingsactiviteit op bij concentraties boven 135 $\mu\text{mol Fe/g}$ bodem, de groei was sterk geremd bij concentraties boven 63 $\mu\text{mol Fe/g}$ bodem (Nottrot et al., 1987). Ter vergelijking, in De Scheeken waren de Fe concentraties in de Fe-behandeling met gemiddeld 38 $\mu\text{mol/g}$ bodem ruim beneden deze waarden.

5.3 Methode

5.3.1 Bemonstering

Van de proeflocaties in de Groote Heide en De Scheeken zijn de volgende behandelingen bemonsterd:

- Controle (proefvlakken C1, C2 en C3). In De Groote Heide ontbrak een derde controle proefvlak. In plaats daarvan is een ongestoorde locatie net buiten de in Figuur 2-2 weergegeven proefvlakken bemonsterd.
- Zode verwijdering (proefvlakken Z1, Z2 en Z3).
- Zode verwijdering plus ijzerslib (proefvlakken ZFe1, ZFe2, ZFe3)

De bemonsteringen vonden plaats op 24 november 2016 (Groote Heide) en op 16 juni 2016 (De Scheeken). Opgemerkt moet worden dat ten tijde van de bemonstering in De Scheeken een periode van extreme neerslag voorafgegaan was. Hierdoor was in de bodem verzadigd met water; water stond in een groot deel van de proefvlakken tot boven maaiveld. In die situaties zijn de hoogst gelegen delen van de proefvlakken bemonsterd, maar deze bleken bij het bemonsteren eveneens verzadigd met water.

Springstaarten zijn bemonsterd door middel van het steken van bodemkernen. Deze monsters zijn vervolgens direct na bemonstering in een Tullgren apparaat geplaatst, om alle in de gestoken bodemkern aanwezige dieren te extraheren (gedetailleerde methode is beschreven in van Straalen & Rijninks, 1982). Na een periode van drie weken van extractie zijn de fauna monsters in afgesloten buisjes op 70% alcohol gehouden voor latere determinatie. Uit de verkregen monsters zijn vervolgens alle springstaarten (*Collembola*) tot het laagst mogelijke taxonomische niveau gedetermineerd, met gebruik van de determinatietabel van Hopkin (2007).

5.3.2 Gegevensanalyse op basis van autecologie

Soorten en soortgroepen zijn geïdentificeerd op basis van de eerst door Gisin (1943) voorgestelde onderverdeling in levensvormen, vochtvoorkeur en biotooppreferentie.

De verschillende levensvormen binnen de *Collembola* zijn opgesteld op basis van duidelijke morfologische verschillen binnen deze groep, die gezamenlijk een afspiegeling vormen van de diepte waarin deze organismen leven, en van het type substraat waarvan ze leven:

- o **Epedaphisch:** soorten die hun gehele levenscyclus op of boven de bodem (in vegetatie) doorlopen. Gepigmenteerd, het pigment vaak onregelmatig verdeeld zodat de dieren een tekening vertonen. Grote dieren met 8+8 goed ontwikkelde ogen. Furca sterkst ontwikkeld, antennen en beharing lang. Post-antennal organ ontbreekt.

- o **Hemi-edaphisch:** soorten die een deel van hun levenscyclus op de bodem doormaken en/of soorten die hun levenscyclus volbrengen in de bovenste strooisel- en humuslaag. Gepigmenteerde dieren van gemiddelde grootte met 8+8 ogen. Post antennal organ aanwezig maar vrij eenvoudig van bouw, furca aanwezig, antennen en beharing middellang.
- o **Eu-edaphisch:** soorten die hun gehele levenscyclus in de bodem doorlopen (onder de strooisellaag). Kleine soorten, vaak pigmentloos met gereduceerd aantal of geheel ontbreken van ogen en sterk gereduceerde of ontbrekende furca. Antennen en beharing kort. Post-antennal organ (een klier, belangrijk als afweermecanisme tegen predators) aanwezig en vaak complex van bouw.

Daarnaast is een onderverdeling gemaakt op basis van de vochtvoorkeuren. Xerofiele soorten zijn bewoners van ruw strooisel, mossen en korstmossen, mesofiele soorten zijn typische bewoners van goed gebufferde dikke strooisel- en humuspakketten en hygrofiele soorten zijn soorten die veelal in habitats leven waar water vaak periodiek tot of op het maaiveld staat. Eu-edaphische soorten zijn gevoelig voor droogtestress, aangezien zij juist zijn aangepast aan diepere bodemlagen, die jaarrond vochtig blijven. Deze soorten zijn meestal mesofiel, soms hygrofiel. Hemi-edaphische soorten kunnen xerofiel, mesofiel of hygrofiel zijn. Epedaphische soorten zijn door hun levenswijze gedwongen om aangepast te zijn aan droogtestress, en kunnen het beste beschouwd worden als xerofiele soorten.

Tenslotte zijn de soorten en/of soortgroepen ingedeeld op basis van biotoopvoorkeur. Deze classificatie is zeer grof en bovendien gebaseerd op buitenlandse situaties. Onderscheiden biotoopvoorkeuren zijn: bossen, veen, grasland en eurytope soorten (soorten zonder voorkeur, brede verspreiding).

5.3.3 Statistische analyse

Verschillen in samenstelling van de springstaartgemeenschap tussen de behandelingen is voor beide locaties afzonderlijk geanalyseerd door middel van detrended correspondence analysis (DCA). Aangezien in beide gevallen de lengte van de eerste as in een DCA minder was dan 4 standaarddeviaties, is de gemeenschap vervolgens geanalyseerd door middel van principale component analyse (PCA; Leps & Smilauer, 2003).

Verschillen in dichtheden van springstaarten en autecologisch verwante groepen van springstaarten tussen behandelingen zijn getoetst op statistische significantie door middel van Generalized Linear Models, met een quasipoisson errorverdeling. Verschillen in Adult-juvenile ratio's zijn geanalyseerd door middel van een simpel lineair model, aangezien dit normaal verdeelde data was. Statistische analyse is uitgevoerd door middel van het statistiek programma R (R Core Team, 2015), met gebruik making van het package 'Vegan' voor correspondentie analyse (Oksanen et al., 2015).

5.4 Resultaten

5.4.1 Effect van behandelingen op samenstelling springstaart gemeenschappen

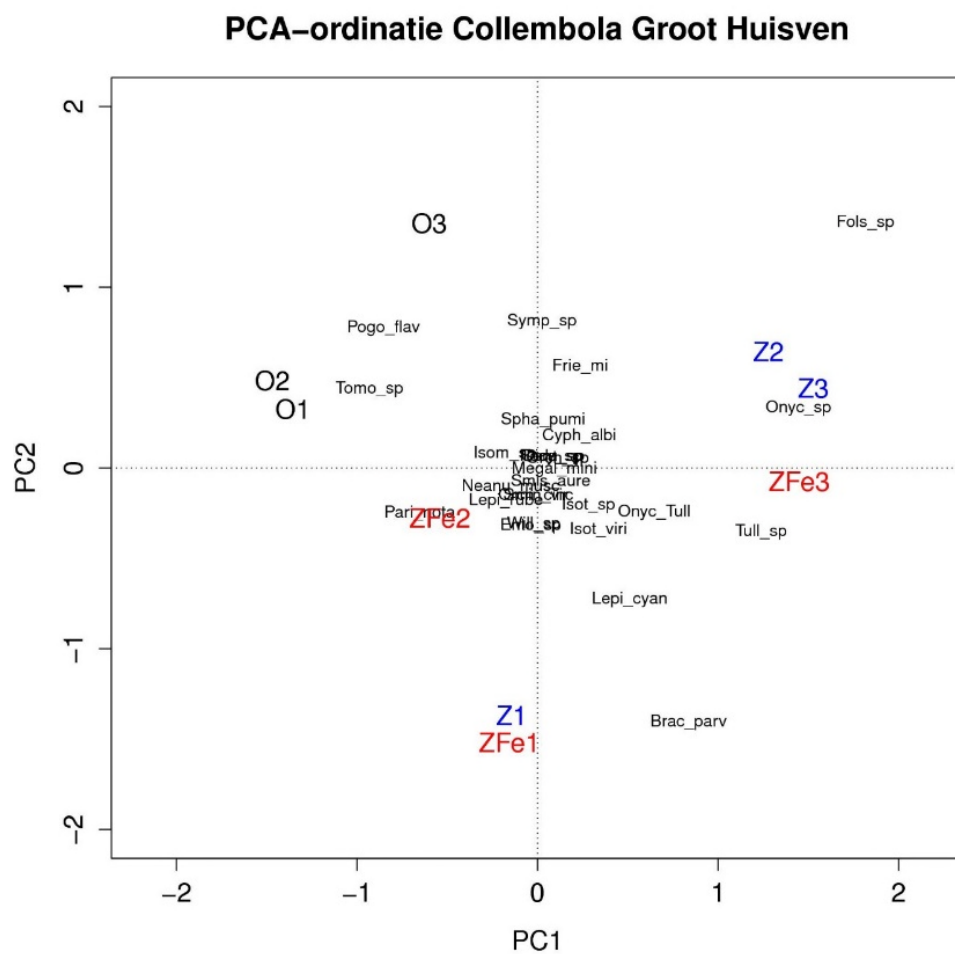
5.4.1.1 Groote Heide

De samenstelling van de springstaartgemeenschap in de onbehandelde proefvlakken (C1 t/m 3) was duidelijk verschillend van die in de zode verwijdering (Z1 t/m 3) en de zodeverwijdering met ijzerslib behandelingen (ZFe1 t/m 3; Figuur 5.1). Van deze twee behandelingen waren de verschillen in samenstelling tussen de monsterpunten groter dan in de controle behandelingen, met name bij de ijzerslib behandelingen. De monsterpunten Z2, Z3 en ZFe3 weken in samenstelling af van de andere Z- en ZFe-behandelingen door een hoge

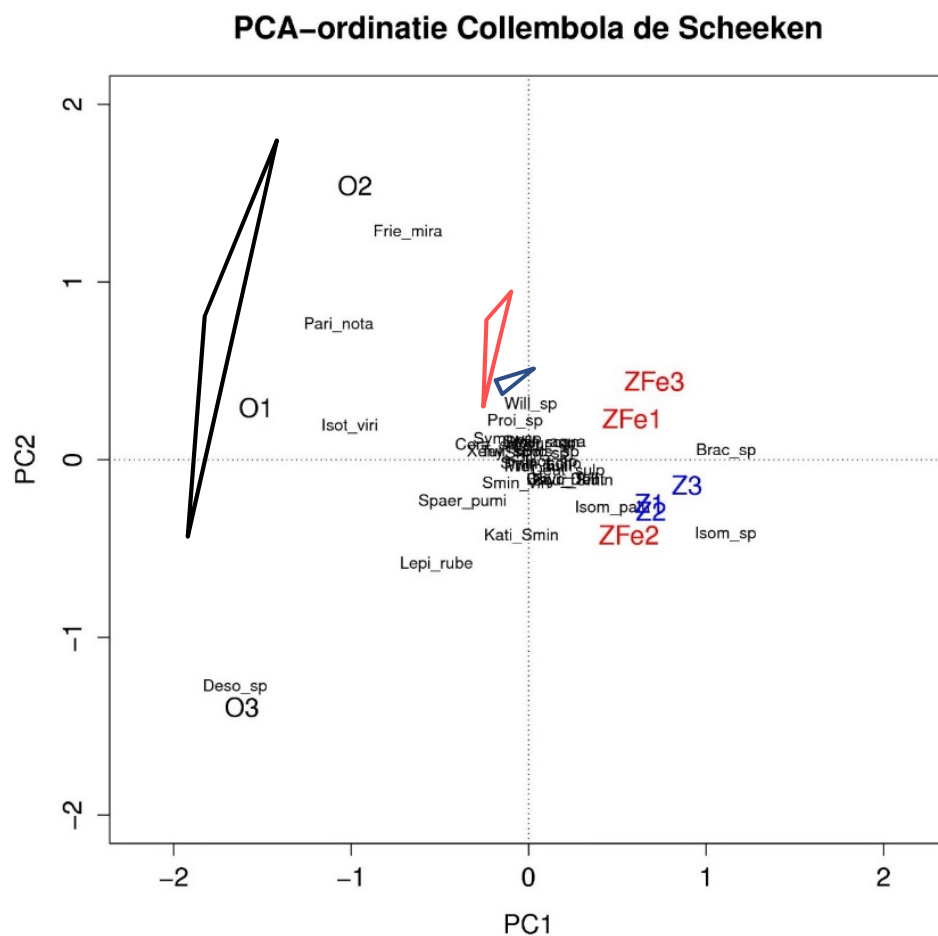
dichtheid van *Folsomia* sp. In ZFe3 zijn in tegenstelling tot ZFe1 en 2 hoge aantallen Onychiuridae en Tullbergiidae aangetroffen. In de controle behandelingen waren de ep/hemi-edaphische soorten *Pogognathellus flavescens* en *Tomocerus* sp. de sterkst differentiërende soorten, met gemiddeld 37 en 32 individuen in de controle behandelingen, en gemiddeld tussen 1 en 3 individuen in de Z- of ZFe-behandelingen (Bijlage tabel VI). *Brachystomella parvula* (hemi-edaphisch) was met gemiddeld 48 en 17 individuen goed vertegenwoordigd in de Z- en ZFe-behandelingen; in de controle behandelingen is deze soort niet aangetroffen. De uitsluitend eu-edaphische families Onychiuridae en Tullbergiidae zijn eveneens in hogere aantallen in de Z- en ZFe-proefvlakken aangetroffen, maar dichtheden verschilden binnen de behandelingen vrij sterk. Onychiuridae zijn in de hoogste aantallen in de Z-behandelingen aangetroffen, in de ZFe-behandelingen waren de dichtheden lager. *Lepidocyrtus cyaneus* (hemi-edaphisch) was eveneens algemener in de Z- en ZFe-behandelingen maar verschilde in dichtheden weinig tussen beide behandelingen. Deze soort kwam ook in redelijke aantallen voor in de controle behandelingen, maar in beduidend lagere dichtheden dan in de Z- en ZFe-behandelingen. Eenzelfde beeld komt naar voren voor *Isotoma viridis* en *Isotoma* sp.

5.4.1.2 De Scheeken

De samenstelling van de springstaartgemeenschap in de onbehandelde proefvlakken (O1 t/m 3) verschilde duidelijk van die van de zode verwijdering (Z1 t/m3) en zodeverwijdering met ijzerslib behandeling (ZFe1 t/m 3; Figuur 5.2). In tegenstelling tot de Groote Heide zijn de onderlinge verschillen de controle behandelingen groter dan in de Z- en ZFe-behandelingen. In de controle behandelingen waren de hemi-edaphische soorten *Friesea mirabilis*, *Parisotoma notabilis*, *Isotoma viridis* en *Desoria* sp. de belangrijkste differentiërende soorten. Onderlinge verschillen in dichtheden van deze soorten verklaren eveneens de hogere variatie tussen de controle proefvlakken. *F. mirabilis* en *P. notabilis* zijn eurytope soorten met een voorkeur voor vochtige omstandigheden, *Desoria* sp zijn soorten die hoge dichtheden in compost en uitgesproken eutrofe situaties behalen. *I. viridis* is eveneens een algemene soort, maar kan als karakteristiek voor enige situaties beschouwd worden. De samenstelling van de Z en ZFe behandelde verschilde weinig van elkaar, en tussen verschillende replica's waren de verschillen eveneens klein. Deze monsterpunten werden gedomineerd door hoofdzakelijk juveniele individuen, met hoge dichtheden van *Brachystomella parvula*, *Isotomurus* sp. (waarschijnlijk juveniele *I. palustris*) en relatief hoge dichtheden van adulte individuen *Isotomurus palustris*. *Brachystomella parvula* is een uitgesproken eurytope soort die vaak in hoge dichtheden in pioniersituaties voorkomt en *Isotomurus palustris* is eveneens een eurytope, vochtminnende soort die goed bestand is tegen veranderende abiotische omstandigheden (Berg et al., 2001).



FIGUUR 5.1. PCA-ORDINATIE DIAGRAM VAN ALLE BEMONSTERDE *COLLEMBOLA* IN DE PROEFVLAKKEN IN DE GROOTE HEIDE. O1 T/M 3: ONBEHANDELDE PROEFVLAKKEN (=C1-C3); VOOR AFKORTINGEN VAN DE SOORTEN EN SOORTGROEPEN ZIE BIJLAGE TABEL V.



FIGUUR 5.2. PCA-ORDINATIE DIAGRAM VAN ALLE BEMONSTERDE *COLLEMBOLA* IN DE PROEFLAKKEN IN DE SCHEEKEN. O1 T/M 3: ONBEHANDELDE PROEFLAKKEN (=C1 T/M C3). VOOR AFKORTINGEN VAN DE SOORTEN EN SOORTGROEPEN ZIE BIJLAGE TABEL V.

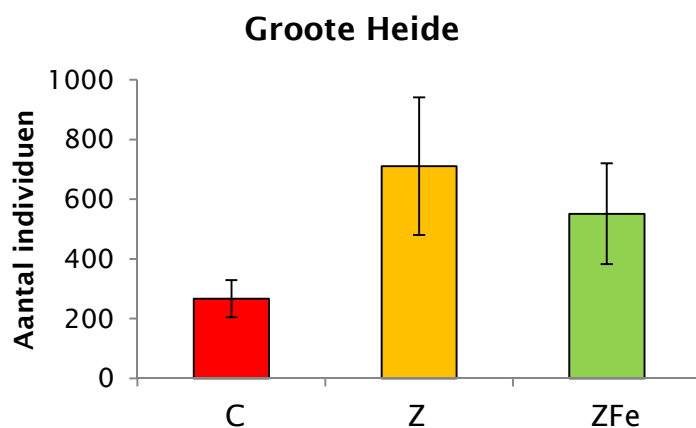
Alle in De Scheeken in substantiële aantallen aangetroffen soorten kennen een hemi-edaphische levenswijze. Dit is een sterk contrast ten opzichte van de proefvelden in de Groote Heide, waar soorten met een eu-edaphische levenswijze eveneens een substantieel aandeel van de gemeenschap innamen.

5.4.2 Verschillen in dichtheden

5.4.2.1 Totaal aantal

Groote Heide

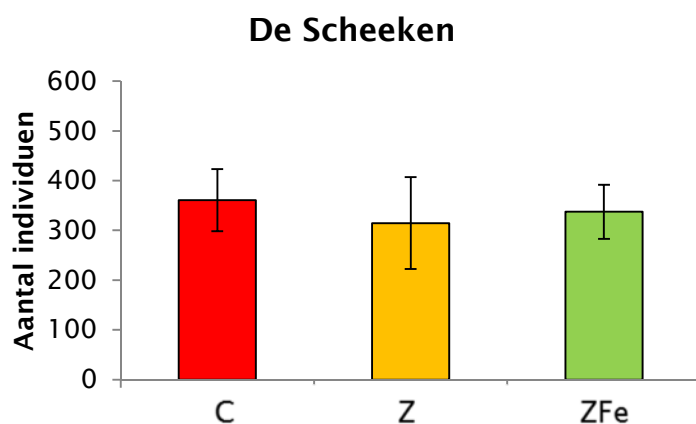
Het totaal aantal *Collembola* was hoger na zode verwijdering met of zonder ijzerslib dan in de controle, maar deze verschillen waren niet significant (Z en ZFe vs C; Figuur 5.3). Het is mogelijk dat de ijzerslib toevoeging de toename van *Collembola* (na het verwijderen van de zode) hier wat heeft geremd.



FIGUUR 5.3 GEMIDDELD AANTAL INDIVIDUEN (± 1 S.E.) IN DE IJZERSLIB PROEFVLAKKEN IN DE GROOTE HEIDE. C = CONTROLE, Z = ZODE VERWIJDERING, ZFe = ZODE VERWIJDERING PLUS IJZERSLIB.

De Scheeken

Het totaal aantal aangetroffen *Collembola* verschilde in De Scheeken niet significant tussen de behandelingen. Het gemiddeld aantal bemonsterde *Collembola* in de controle behandeling in De Scheeken (361.0) was hoger dan in de Groote Heide (266.6); de aantallen in de zode verwijdering met en zonder ijzerslib waren in De Scheeken echter niet verschillend ten opzichte van de controle behandeling (Figuur 5.4).

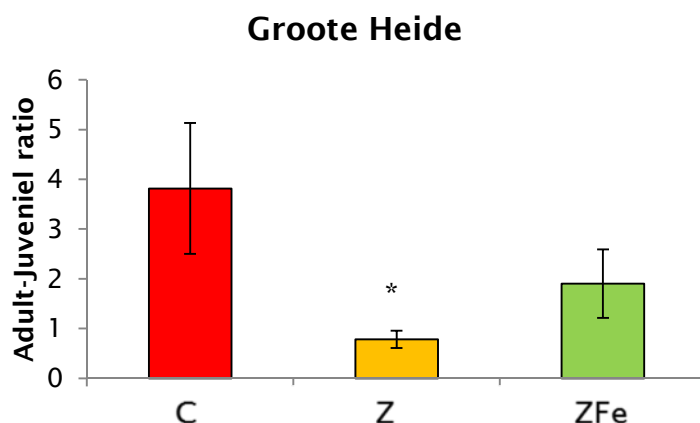


FIGUUR 5.4 GEMIDDELD AANTAL INDIVIDUEN (± 1 S.E.) IN DE IJZERSLIB PROEFVLAKKEN IN DE SCHEEKEN.

5.4.2.2 Adult-juveniel ratio

Groote Heide

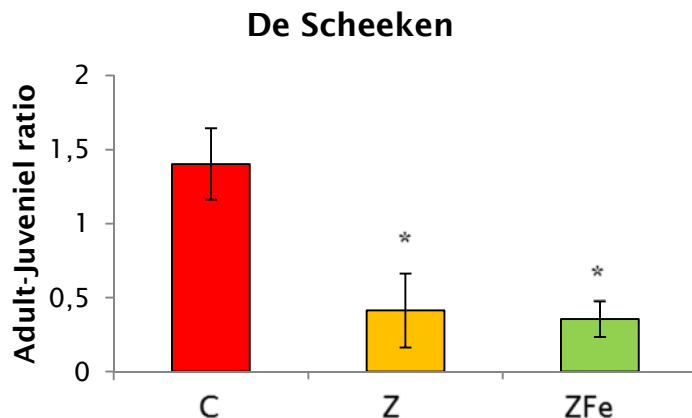
De Adult-Juveniel Ratio (aantal adulte individuen gedeeld door het aantal juveniele individuen in een monster; Figuur 5.5) was significant lager in de Z-behandeling (Linear model: $t=-2.483$, $p<0.05$), maar niet in de ZFe-behandeling. De verminderde toename in reproductie in de ZFe-behandeling is in lijn met de gevonden lagere dichtheden *Collembola* in de ZFe-behandelingen opzichte van de Z-behandeling.



FIGUUR 5.5 GEMIDDELTE VERHOUDING TUSSEN ADULTEN EN JUVENIELEN, (± 1 S.E.) IN DE IJZERSLIB PROEFVLAKKEN IN DE GROOTE HEIDE. * GEEFT SIGNIFICANT VERSCHIL AAN T.O.V. CONTROLE.

De Scheeken

De Adult-Juveniel Ratio verschilde in De Scheeken significant tussen behandelingen (ANOVA: $F=7.70$; $p=0.022$) en was significant lager in zowel de Z- als ZFe-behandelingen ten opzichte van de controle behandeling (Tukey post-hoc test: Niks : Zode $p=0.038$; Niks : Zode Fe: $p=0.030$;). Ten opzichte van de Adult:Juveniel ratio in de Groote Heide valt tevens op dat deze in de controle behandeling in De Scheeken (1.4) beduidend lager is dan die van in de Groote Heide (3.8).



FIGUUR 5.6. GEMIDDELTE VERHOUDING TUSSEN ADULTEN EN JUVENIELEN, (± 1 S.E.) IN DE IJZERSLIB PROEFVLAKKEN IN DE SCHEEKEN. * GEEFT SIGNIFICANT VERSCHIL AAN T.O.V. CONTROLE.

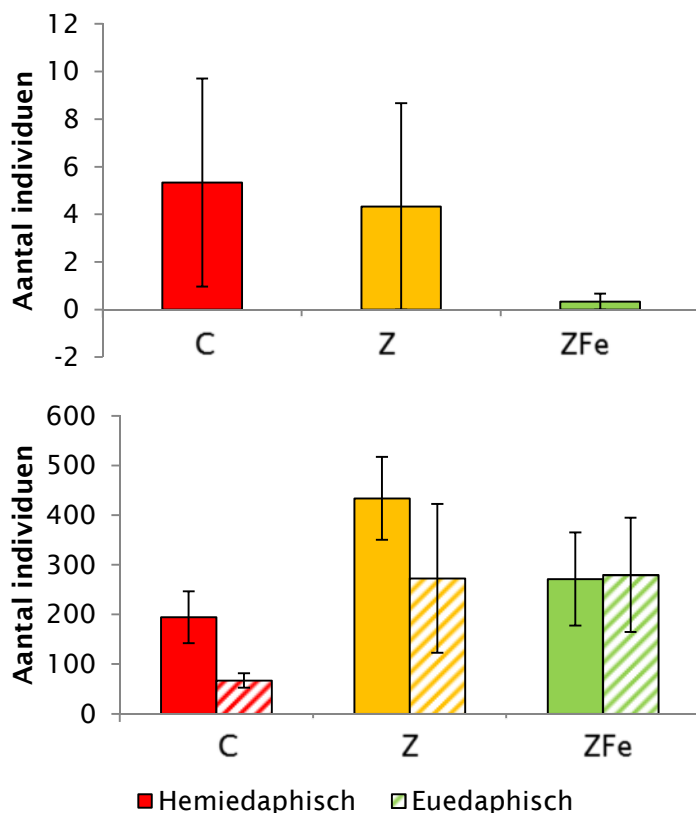
5.4.2.3 Levensvorm

Groote Heide

Het aantal epedaphische *Collembola* was in alle behandelingen laag en erg variabel (Figuur 5.7, bovenste grafiek). Verschillen tussen de behandelingen waren niet significant. Het aantal eu- en hemi-edaphische *Collembola* was veel hoger dan het aantal epedaphische soorten. in alle locaties (Figuur 5.7, onderste grafiek). Deze waren doorgaans hoger in de Z- en ZFe-behandelingen, maar de aantallen varieerden sterk in de verschillende monsters. Het aantal eu-edaphische *Collembola* verschilde niet significant van de controle behandeling. Het

aantal hemi-edaphische *Collembola* was licht, maar niet significant hoger in de Z-behandeling (GLM: $t=2.038$; $p<0.09$). Het aantal hemi-edaphische soorten was lager in de ZFe-behandelingen dan in de Z-behandeling. Het aantal eu-edaphische *Collembola* verschilde evenwel niet tussen deze behandelingen.

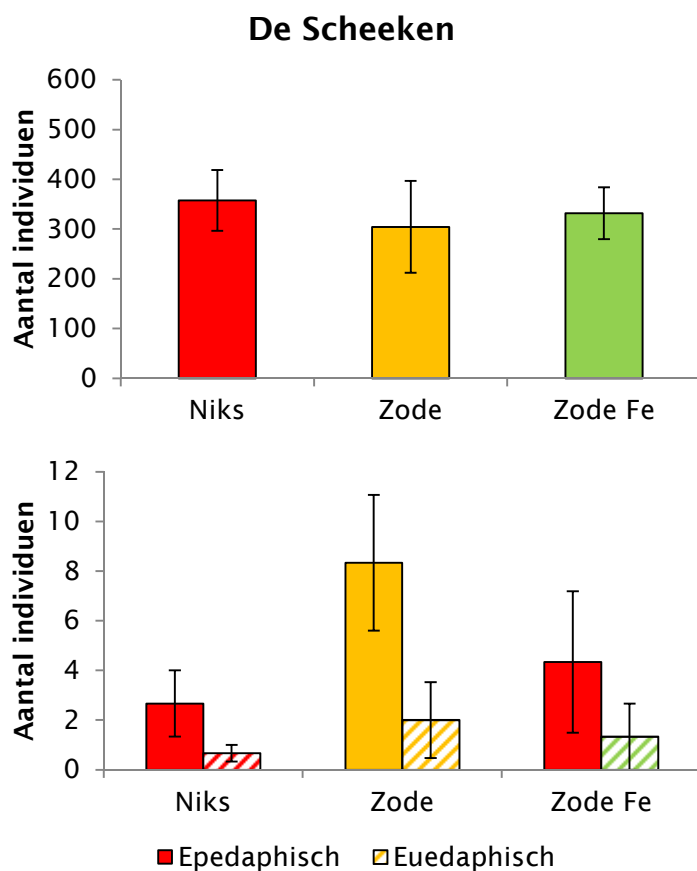
Groote heide



FIGUUR 5.7. GEMIDDELD AANTAL (± 1 S.E.) EPEDAPHISCHE (BOVENSTE GRAFIEK), HEMI-EDAPHISCHE EN EU-EDAPHISCHE *COLLEMBOLA* (ONDERSTE GRAFIEK) IN DE IJZERSLIB PROEFVLAKKEN IN DE GROOTE HEIDE.

De Scheeken

Het aantal epedaphische *Collembola* was in alle behandelingen laag en erg variabel (Figuur 5.8, onderste grafiek) en verschillen tussen de behandelingen waren niet significant. Het aantal eu-edaphische *Collembola* was in De Scheeken, in sterk contrast met de Groote Heide, eveneens laag in alle behandelingen. Enkel hemi-edaphische *Collembola* zijn in hoge aantallen in alle behandelingen aangetroffen (Figuur 5.8, bovenste grafiek). Het gemiddelde aantal hemi-edaphische *Collembola* was in alle behandelingen gelijk, variërend tussen 304.3 en 357.7 individuen. Doorgaans zijn eu-edaphische soorten in hogere aantallen aanwezig dan hemi-edaphische soorten, behalve als de condities in de diepere bodem minder gunstig zijn dan in de ondiepe bodem/strooisel. In oude, ongestoorde graslanden komen meer eu- dan hemi-edaphische *Collembola* voor, terwijl in jonge, verstoorde graslanden hemi-edaphische soorten sneller toe kunnen nemen dan eu-edaphische soorten. Dieper in de bodem moet de schimmelaafbraak eerst weer goed op gang zijn gekomen voordat daar een grote populatie *Collembola* op grazen kan. Na frezen en/of ploegen/ontgronden heeft dit herstel enige tijd nodig.

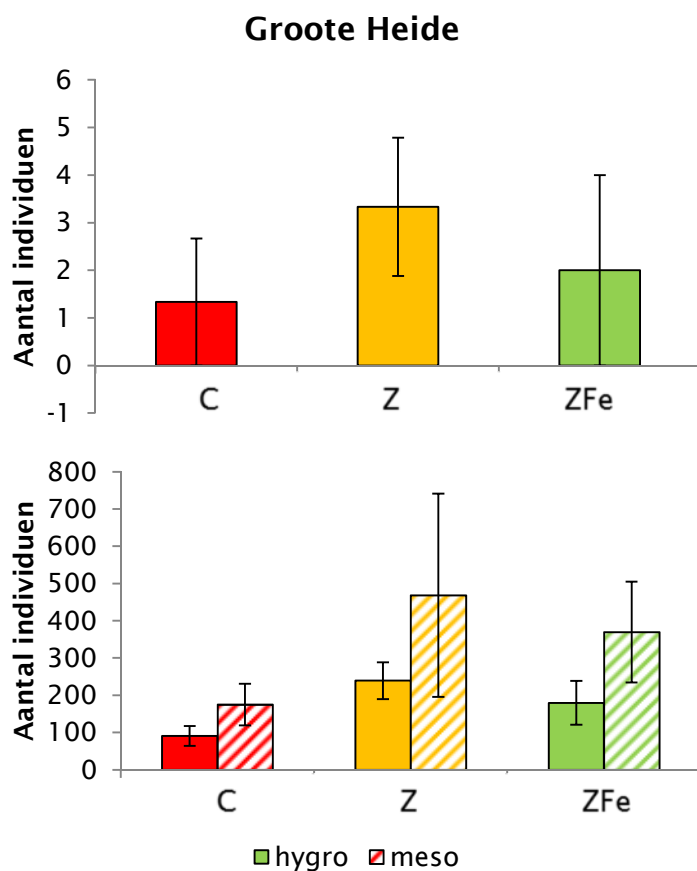


FIGUUR 5.8 GEMIDDELD AANTAL (± 1 S.E.) HEMI-EDAPHISCHE (BOVENSTE GRAFIEK) EN EPDAPHISCHE EN EU-EDAPHISCHE *COLLEMBOLA* (ONDERSTE GRAFIEK) IN DE IJZERSLIB PROEFVLAKKEN IN DE GROOTE HEIDE.

5.4.2.4 Droogtetolerantie

Groote Heide

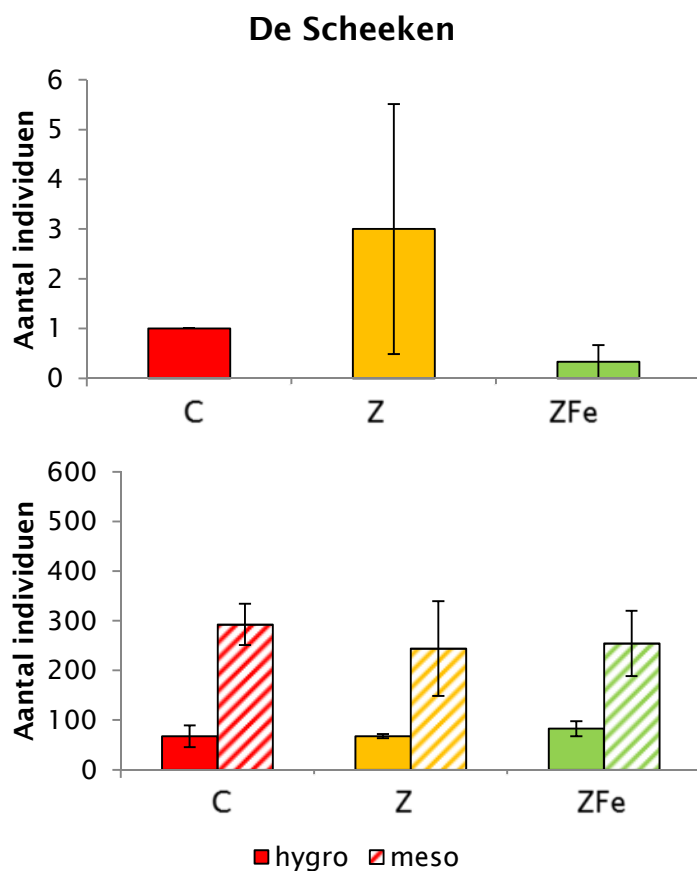
Het aantal *Collembola* was voor elke groep (xerofiel, mesofiel en hygrofiel) gemiddeld het hoogst in de Z-behandeling, al waren overal de verschillen niet significant. Het aantal xerofiele *Collembola* (doorgaans epedaphische soorten) was laag in alle behandelingen en verschilde niet tussen de behandelingen (Figuur 5.9).



FIGUUR 5.9 GEMIDDELD AANTAL (± 1 S.E.) XEROFIELE (BOVENSTE GRAFIEK), HYGROFIELE EN MESOFIELE COLLEMBOLA (ONDERSTE GRAFIEK) IN DE IJZERSLIB PROEFVLAKKEN IN DE GROOTE HEIDE.

De Scheeken

Het gemiddeld aantal xerofiele *Collembola* in De Scheeken was in De Scheeken eveneens laag ten opzichte van de aantallen meso- en hygrofiele soorten (Figuur 5.10; bovenste grafiek). Het aantal meso- en hygrofiele *Collembola* verschilde eveneens niet significant tussen de behandelingen (Figuur 5.10; onderste grafiek). Opvallend is het verschil in dichtheden van hygrofiele *Collembola* in De Scheeken (67.7-82.7) ten opzichte van de Groote Heide (90.7-239.0).



FIGUUR 5.10 GEMIDDELD AANTAL (± 1 S.E.) XEROFIELE (BOVENSTE GRAFIEK), HYGROFIELE EN MESOFIELE *COLLEMBOLA* (ONDERSTE GRAFIEK) IN DE IJZERSLIB PROEFVLAKKEN IN DE SCHEEKEN.

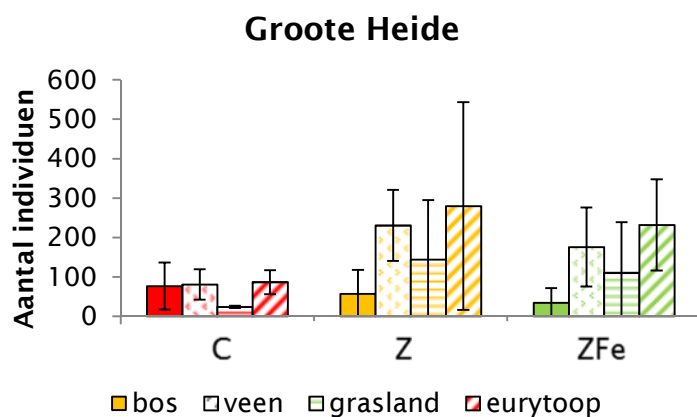
5.4.2.5 Gisin-biotoopkarakteristiek

Groote Heide

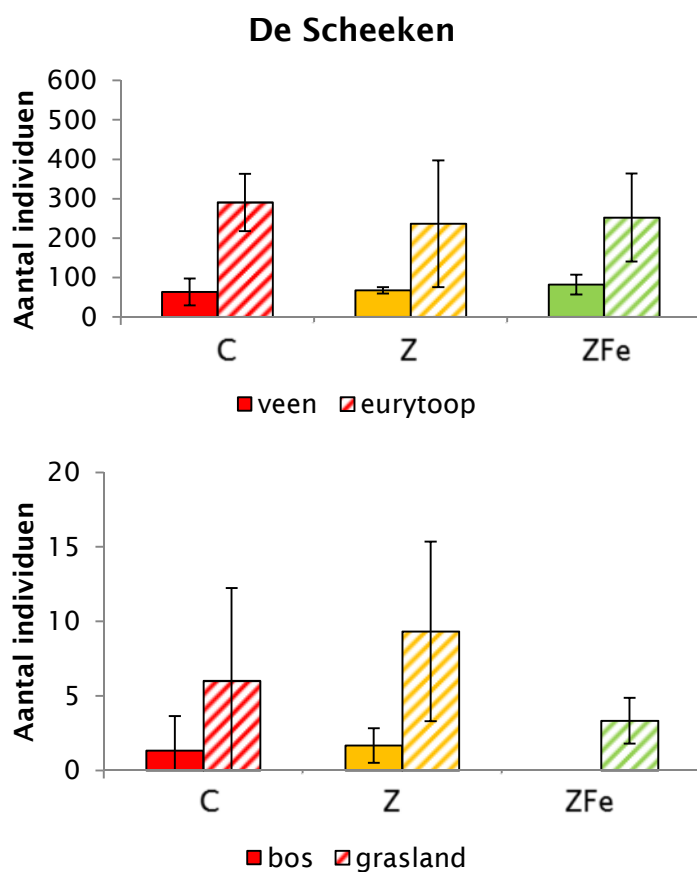
Afgezien van het aantal specifiek voor bosbodems geclassificeerde *Collembola*, waren de dichtheden van *Collembola* karakteristiek voor veen, grasland en eurytope soorten overall hoger in de Z- en ZFe-behandelingen dan in de controle behandelingen, al waren de aantallen niet significant verschillend (Figuur 5.11).

De Scheeken

In De Scheeken zijn op basis van de onderverdeling in Gisin-biotoop karakteristieken geen verschillen in dichtheden tussen de behandelingen gevonden (Figuur 5.12). In alle behandelingen nemen eurytope *Collembola* het grootste aandeel in, gevolgd door soorten die als karakteristiek voor venige situaties gelden. Soorten karakteristiek voor bos- en grasland systemen komen in De Scheeken in alle behandelingen in lage dichtheden voor, hetgeen contrasteert met de situatie in de Groote Heide, waar deze in beduidend hogere dichtheden zijn aangetroffen.



FIGUUR 5.11 GEMIDDELD AANTAL (± 1 S.E.) *COLLEMBOLA* VERDEELD OVER DE BIOTOOPCLASSIFICATIE VAN GISIN (1943) IN DE IJZERSLIB PROEFVLAKKEN.



FIGUUR 5.12 GEMIDDELD AANTAL (± 1 S.E.) *COLLEMBOLA* VERDEELD OVER DE BIOTOOPCLASSIFICATIE VAN GISIN (1943) IN DE IJZERSLIB PROEFVLAKKEN. BOVENSTE GRAFIEK: SOORTEN KARAKTERISTIEK VOOR VEEN EN EURYTOPE SOORTEN. ONDERSTE GRAFIEK: SOORTEN KARAKTERISTIEK VOOR BOS EN GRASLAND.

5.5 Discussie

5.5.1 Algemene overwegingen

Allereerst moet vastgesteld worden dat het aantal replica's in beide proeven erg laag is om robuust statistische verschillen tussen behandelingen aan te kunnen tonen. Dit is vooral bij aantalsbemonsteringen van belang, aangezien deze vaak een hogere mate van spreiding ten opzichte van het gemiddelde vertonen dan bijvoorbeeld metingen aan bodemchemische parameters. Ook misten de proeven een behandelcombinatie (geen zode verwijdering, wel ijzerslib toediening), waardoor het ook niet mogelijk was om te toetsen op de enkele behandelingseffecten. Door de hoge mate van interne variatie in totaal aantal bemonsterde *Collembola* tussen de replica's, in combinatie met het laag aantal replica's per behandeling waren vrij grote verschillen in gemiddelde aantallen vaak niet significant, en kon er enkel van een significante trend gesproken worden. Dit maakt het niet mogelijk om zeer harde uitspraken te doen over de effecten van ijzerslib toediening op springstaarten.

Daarnaast is ook duidelijk geworden dat er grote verschillen in samenstelling en respons bestaan tussen de proefopzet in de Groote Heide en De Scheeken. Deze zal deels een gevolg zijn van verschillen in uitgangssituatie, zoals verschillen in bodemtype, gemiddelde grondwaterstand, nutriëntstatus, etc. Een ander verschil tussen de monsternamen in de Groote Heide en De Scheeken was de situatie met betrekking tot het grondwater. In De Scheeken stond als gevolg van excessieve neerslaghoeveelheden in de weken voorafgaand aan de bemonstering water tot boven maaiveld. Deze zeer natte omstandigheden zullen ook invloed hebben uitgeoefend op de samenstelling van de springstaartgemeenschap op dat moment. Om deze redenen is gekozen om de resultaten van beide experimenten afzonderlijk van elkaar te analyseren. Significante verschillen, maar ook significante trends zijn hierbij gebruikt om deze invloed te duiden.

5.5.2 Effecten van behandelingen op de springstaartgemeenschap

De samenstelling van de springstaartgemeenschappen bij zowel de Z-behandeling als de ZFe-behandeling was beduidend anders dan die van de controle behandeling. In de Groote Heide waren met name een aantal eu-edaphische soorten en soortgroepen (Onychiuridae, Tullbergiidae) in de Z- en ZFe-behandelingen sterk in aantal toegenomen, terwijl een aantal hemi-edaphische soorten (*Pogognathellus flavescens*, *Tomocerus* sp.) nagenoeg afwezig waren in de Z- en ZFe-proefvlakken. Hiervoor in de plaats zijn andere hemi-edaphische soorten gekomen, waarbij *Brachystomella parvula* het meest uitgesproken voorbeeld is. Dit is een soort met een voorkeur voor open graslandsystemen, en is vaak de dominante soort in open, spaarzaam begroeide pioniersituaties. In De Scheeken waren eu-edaphische soorten echter in geen van de behandelingen in hoge aantallen aangetroffen. Verschuivingen in soortensamenstelling vonden plaats binnen hemi-edaphische soorten, met *Desoria* sp., *Parisotoma notabilis* en *Friesea mirabilis* in duidelijk hogere abundanties in de onbehandelde proefvlakken. In de Z- en ZFe-behandelingen waren *Brachystomella parvula* en *Isotomurus palustris* in beduidend hogere dichtheden aanwezig. Anders dan in de Groote Heide was er geen verschil in samenstelling tussen de Z- en ZFe-behandelingen in De Scheeken.

Met het verwijderen van de zode is de toplaag van de bodem eveneens gefreesd. Het lijkt er op dat deze maatregel de mineralisatie van strooisel in de Groote Heide fors heeft gestimuleerd, aangezien dichtheden van *Collembola* in deze behandelingen gemiddeld hoger waren dan in de controle behandelingen. Door de hoge mate van spreiding en het laag aantal replica's was dit effect statistisch gezien echter niet significant ($p < 0.1$). In De Scheeken is dit effect niet waargenomen. De adult-juveniel ratio was echter wel significant lager in de zode verwijderingsbehandeling dan in de controle behandeling; zowel in de

Groote Heide als in De Scheeken. Dit is een indicatie dat de reproductie activiteit van springstaarten door deze behandeling sterk is toegenomen, mogelijk als gevolg van een toegenomen voedselaanbod (fungi) door toegenomen mineralisatie van organisch materiaal.

Soorten die in diepere bodemlagen leven (eu-edaphische soorten) waren nagenoeg afwezig in De Scheeken, terwijl zij in de Groote Heide een substantieel aandeel in de gemeenschap innamen. Dit verschil is waarschijnlijk een gevolg van verschillen in hydrologische condities tussen beide locaties: ten tijde van bemonstering in De Scheeken stond grondwater op tot boven maaiveld. Lange perioden van waterverzadigde bodemcondities hebben een negatief effect op dichtheden van *Collembola* door het snel optreden van anoxische condities. Hemi- en epedaphische soorten zijn door hun relatief hogere mobiliteit beter in staat om deze condities te ontwijken dan eu-edaphische soorten (Hopkin, 1997). Bij langdurige inundatie sterven adulten en juvenielen van eu-edaphische soorten en is heropbouw van de populatie alleen mogelijk uit de resistentere ei-fase of vanuit migratie vanuit restpopulaties uit de omgeving (Irmler, 2004). Het laatste kan meerdere maanden in beslag nemen.

In de Groote Heide namen eu-edaphische soorten niet significant toe in de Z- en ZFe-behandelingen, verschillen tussen beide behandelingen waren minimaal. In contrast hiermee was de reactie van de hemi-edaphische *Collembola*. Zij lieten een trend zien richting hogere aantallen bij de Zode verwijderingsbehandeling ten opzichte van de controle, maar verschillen waren niet significant. In De Scheeken was evenwel geen verschil in abundantie van hemi-edaphische soorten tussen de verschillende behandelingen gevonden. Uitgaande van de resultaten van de Groote Heide is er een indicatie dat hemi-edaphische springstaarten net als eu-edaphische springstaarten gestimuleerd zijn door de zodeverwijderings-behandeling, maar dat zij in contrast met de eu-edaphische springstaarten licht geremd worden door de ijzerslib behandeling. Verschillen in deze respons kunnen het gevolg zijn van verschillen in reproductiemethode (eu-edaphische soorten planten zich meestal ongeslachtelijk voort, hemi-edaphische soorten kennen veel vaker geslachtelijke voorplanting), metabole activiteit (hemi-edaphische soorten zijn mobieler en actiever dan eu-edaphische soorten) of door onderlinge verschillen in gevoeligheid voor ijzertoxiciteit. Opgemerkt moet worden dat er enkel sprake is van een negatieve trend, en dat deze effecten in de proef op De Scheeken niet zijn gevonden.

5.5.3 Conclusies en aanbevelingen

Op basis van deze resultaten kan geconcludeerd worden dat de samenstelling en dichtheid van *Collembola* in de proeven het sterkst door de voorbereidende maatregel "zode verwijderen en frezen" zijn beïnvloed, en in veel mindere mate door ijzerslibtoevoeging. In beide proeflocaties is dit waarneembaar als een verschil in samenstelling van de gemeenschap en als een verschil in de adult-juvenile ratio in de Z- en ZFe-behandelde proefvlakken met de controle behandeling. Deze proefvlakken reflecteren een pioniersituatie, die in de Groote Heide als gevolg van toegenomen mineralisatie heeft geleid tot hogere dichtheden van *Collembola* ten opzichte van de controle. In De Scheeken is dit effect niet gevonden, wellicht als gevolg van de zeer natte bodemcondities.

Enkel in de Groote Heide zijn er aanwijzingen gevonden dat ijzerslibtoediening een mogelijk remmende invloed heeft op de dichtheid en reproductieactiviteit van springstaarten. Soorten die zich in de bovenste bodemlaag bevinden worden het sterkst gestimuleerd door voorbereidende maatregelen (zodeverwijdering en infrezen), en eveneens het sterkst geremd door ijzerslibtoediening. Het pionierkarakter van de behandelde proefvlakken ten tijde van bemonstering, de verschillen tussen bodemcondities en springstaartgemeenschappen in de onderzoekslocaties en het dominante effect van de voorbereidende maatregel (frezen) op samenstelling en dichtheid van *Collembola* maken het niet mogelijk om harde uitspraken

over mogelijke remming van ijzerslib op *Collembola* te maken. Dit is pas mogelijk wanneer het pionierkarakter en de initiële stimulering van de afbraak door frezen in de behandelde proefvlakken is overgegaan in een meer stabiele situatie. Ook is het aan te bevelen om een eventuele vervolg monsternamen in dezelfde periode uit te voeren, in minder extreem natte omstandigheden, om grote verschillen in abiotische condities en effecten van waterverzadiging op de bodemgemeenschap uit te kunnen sluiten.

Hemi-edaphische soorten spelen een rol in het begin van strooiselomzetting. Zij bestaan hoofdzakelijk uit herbivore grazers (Berg et al., 2004), wat betekent dat zij grote hoeveelheden dood en levend plantaardig materiaal eten en uitscheiden, en hebben daarmee een belangrijke functie in het verkleinen van ruw organisch strooisel naar kleinere partikels die een veel gunstiger oppervlakte:volume ratio hebben. Springstaarten hebben daardoor, ondanks dat zij grote hoeveelheden bacterie en schimmelmassa eten, toch een stimulerende werking op bodemafbraakprocessen (Hopkin, 1997, Eisenhauer et al., 2010). Een remming in de ontwikkeling van deze groep kan leiden tot een verminderde afbraak van dit ruwe strooisel wat kan leiden tot een toename van slecht verteerd strooisel. Een mogelijk negatief hiervan is dat de bodem 'vervilt' raakt, wat negatieve consequenties heeft op de soortensamenstelling van vaatplanten. Het is daardoor aan te raden om na enige jaren die parameters (nutriënt budgets, strooiseldikte, organisch stof gehalte, humusvorm) in het experiment te bepalen, eventueel in combinatie met een herhaling van de bodemmesofauna bemonstering.

6 Juridische aspecten toepassing

6.1 Aanleiding

De toepassing van drinkwaterslib in natuurgebieden is een innovatieve maatregel waarmee in de praktijk geen tot beperkt ervaring is. Het is voor veel instanties dan ook nog onduidelijk hoe deze maatregel moet worden beoordeeld en welke wettelijke kaders van toepassing zijn. In dit hoofdstuk wordt ingegaan op de juridische aspecten van deze toepassing en hoe onze resultaten mogelijk kunnen leiden tot meer eenduidigheid en duidelijkheid in vergunningverlening.

6.2 Wettelijke kaders

Voor het in de (water)bodem brengen van een stof in een natuurgebied zijn een aantal wetten relevant: de Wet Bodembescherming, de Wet Natuurbescherming en (mogelijk) de Meststoffenwet. In het geval van een afvalstof zijn ook de Wet Milieubeheer (hoofdstuk 10) en het stortverbod voor afvalstoffen van belang.

Bijproductstatus

Ijzerslib en ijzerkalkslib uit de Nederlandse drinkwaterwinning zijn in vrijwel alle gevallen een bijproduct. De stof voldoet aan de bijproductcriteria¹ en de Nederlandse drinkwaterbedrijven hebben een registratie gedaan voor ijzer(hydr)oxide en calciumcarbonaat volgens de Europese Chemicaliënverordening Reach.

Wet Bodembescherming

Op grond van de Wet Bodembescherming is het verboden om handelingen te verrichten die de bodem kunnen verontreinigen of aantasten (zorgplicht bodem). De Minister kan bij algemene maatregel van bestuur nadere eisen stellen aan bepaalde handelingen waaronder gebruik van a) grond/bagger, b) bouwstoffen², en c) meststoffen.

Als het drinkwaterslib als één van deze drie categorieën kan worden toegepast, gelden de eisen uit het Besluit bodemkwaliteit (grond, bagger en bouwstoffen) of uit het Uitvoeringsbesluit Meststoffenwet. Als het drinkwaterslib niet onder één van deze drie titels kan worden toegepast, geldt de algemene zorgplicht. Er moet dan aangetoond worden dat toepassing van het drinkwaterslib geen schadelijke gevolgen heeft voor de bodem. Het bevoegd gezag hiervoor is de gemeente (bodem) of waterschap (waterbodem).

In onderstaande paragrafen wordt nader bekeken welke wet of besluit van toepassing is op het toedienen van drinkwaterslib, zoals beoogd in ons onderzoek,

Besluit Bodemkwaliteit

Kan drinkwaterslib voor toepassing als fosfaatbinder in een natuurgebied beschouwd worden als grond, baggerspecie of bouwstof? Drinkwaterslib kan passen in de definitie van grond of baggerspecie en als zodanig worden toegepast. De praktijkervaring wijst uit dat bevoegde gezagen laag ijzerhoudende slibben afkomstig van de coagulatie van

¹ Bijproduct: reststof zoals bedoeld in artikel 1.1, lid 6, laatste volzin van de Wet milieubeheer, die het resultaat is van een productieproces dat niet in de eerste plaats is bedoeld voor de productie van die stof en waarbij is voldaan aan de voorwaarden genoemd in artikel 5, eerste lid van de Kaderrichtlijn Afvalstoffen nr. 2008/98/EG.

² Voor toepassing als grond of bouwstof is een milieuhygenische verklaring vereist (partijkeuring AP04). Met deze keuring wordt aangetoond dat de stof voldoet aan de grenswaarden voor zware metalen en organische micro verontreinigingen.

oppervlaktewater als baggerspecie aanmerken. Voor hoog ijzerhoudende slibben uit de grondwaterwinning is in praktijk het oordeel vaak dat het niet past in de definitie van grond. Voor de toepassing van fosfaatbinding zijn met name de hoger ijzerhoudende slibben interessant, zodat toepassing als grond zelden een optie zal zijn.

Drinkwaterslib kan passen in de definitie van bouwstof mits het voldoende zand bevat in verband met de eis van “steenachtigheid”. Dit is normaliter niet het geval. Een deel van het drinkwaterslib van de waterbedrijven bevat echter wel veel zand, doordat het bij de opslag vermengd raakt met vijverbodem. Alleen dit zandrijke drinkwaterslib kan als bouwstof gelden en wordt in de praktijk reeds als bouwstof toegepast³. Bouwstoffen mogen volgens het Besluit bodemkwaliteit niet met de bodem worden vermengd en moeten verwijderd kunnen worden. Dat betekent dat drinkwaterslib of ijzerzand alleen als bouwstof toegepast kan worden indien het terugneembaar toegepast wordt, bijvoorbeeld in een nutriëntenbuffer. Dit geldt derhalve niet voor de toepassingswijze die wij met dit onderzoek beogen.

Uitvoeringsbesluit en Uitvoeringsregeling Meststoffenwet

Kan drinkwaterslib voor toepassing als fosfaatbinder in een natuurgebied dan wellicht beschouwd worden als meststof? Ijzerslib (ook wel waterijzer genoemd) staat op de lijst van toegelaten meststoffen (bijlage Aa bij Uitvoeringsregeling Meststoffenwet) als “eindproducten van bewerking procedés die als meststof kunnen worden verhandeld” onder het kopje “hulpstof of toevoegmiddel” voor de bereiding van deze eindproducten. Anders dan het eveneens op bijlage Aa vermelde kalkslib (met een laag ijzergehalte), mogen de ijzerrijke ijzerslibben en ijzerkalkslibben echter niet direct op het land gebracht worden als meststof. Voor de door ons beoogde maatregel is dus ook de toepassing als meststof volgens bijlage Aa geen optie.

Ook classificeert drinkwaterslib niet als anorganische meststof binnen de categorie “Overige anorganische meststoffen die hoofdzakelijk zijn bedoeld om micronutriënten te leveren”. Hoewel drinkwaterslib het micronutriënt ijzer bevat, zou dit in de vorm van ijzerchelaat of een ijzerzout moeten zijn, en het ijzer in drinkwaterslib betreft ijzer(hydr)oxide.

Kortom, de toepassing van drinkwaterslib zoals bedoeld in dit project, valt niet onder één van de categorieën grond/bagger, bouw- of meststof. Voor de toepassing ervan geldt derhalve de algemene zorgplicht bodem.

Wet Natuurbescherming

In natuurgebieden gelden natuurbeschermingsregels. De Wet natuurbescherming en Natura 2000 laten activiteiten toe (vergunningplichtig, tenzij toegelaten in het beheersplan) die niet schadelijk zijn voor de in stand te houden natuurwaarden. Het toedienen van drinkwaterslib als fosfaatbindingsproduct aan de bodem kan op basis hiervan toegelaten worden, dit is ter beoordeling van de natuurbeheerder.

³ Bouwstoffen mogen normaliter geen grond bevatten. In de toelichting van de Regeling bodemkwaliteit is echter aangegeven dat dit niet geldt voor materiaal dat inherent grond bevat zoals immobilisaat en drinkwaterreststoffen. Zie Artikel 26, 2° lid: <https://zoek.officielebekendmakingen.nl/stb-2007-469.html>

6.3 Conclusies

Ijzerrijk drinkwaterslib heeft de status van bijproduct. Voor het toedienen ervan als fosfaatbindingsproduct aan bodems van natuurgebieden gelden de Wet Natuurbescherming en de zorgplicht bodem. Dit laatste wil zeggen dat het gebruik geen bedreiging vormt voor de bodem. Het bevoegd gezag voor deze afweging is de gemeente of het waterschap. Ook de beheerder van het natuurgebied moet uiteraard betrokken worden en eventueel vergunning verlenen voor het toepassen van drinkwaterslib in een natuurgebied.

Ons onderzoek heeft overigens aangetoond dat de toepassing van drinkwaterslib geen nadelige effecten heeft op de bodem. Door bij de selectie van geschikte drinkwaterslibben de concentraties aan zware metalen als één van de selectiecriteria mee te nemen, wordt voorkomen dat de natuurlijke achtergrondwaarden voor deze metalen worden overschreden. Daarnaast bindt het ijzer in het drinkwaterslib, behalve fosfaat, ook in de bodem aanwezige metalen, en verlaagt zo de beschikbare concentratie ervan.

7 Aanbod en selectie geschikt slib

7.1 Selectie geschikt slib

Voor de selectie van drinkwaterslib dat in aanmerking komt voor toepassing op voormalige landbouwgronden, zijn onderstaande criteria t.a.v. de chemische samenstelling opgesteld. Voor de uiteindelijke toepassing van drinkwaterslib is uiteraard ook een kosten-baten analyse nodig: welke drinkwaterslibben zijn tegen een aanvaardbare prijs beschikbaar? Voor deze afweging zijn logistieke kosten (transportafstand en opslag) van belang, maar ook de waarde die bepaald wordt door andere toepassingen van het ijzerslib, bijvoorbeeld als zwavelbinder in biovergisters. Op het vraagstuk van logistiek en kosten wordt ingegaan in hoofdstuk 8. In onderstaande paragrafen wordt de selectie beschreven op basis van de chemische samenstelling van het slib.

7.2 Selectiecriteria samenstelling

- Goede verhouding tussen ijzer (Fe) plus aluminium (Al) en fosfaat (P).
 - o In het veld wordt een ratio nagestreefd van $(Fe+Al)/P < 0.1$. Des te hoger deze ratio in het slib is, des te minder er van nodig is in het veld. Slib met een $(Fe+Al)/P$ ratio van 0.1 of hoger is ongeschikt, want het bevat zelf al teveel P.
- Lage concentraties zware metalen
 - o Door het mengen van de benodigde hoeveelheid drinkwaterslib met de bovenste bodemlaag, dient de achtergrondwaarde van aanwezige zware metalen niet verhoogd te worden.
- Laag stikstofgehalte
 - o Grondbewerking resulteert in het algemeen in een (tijdelijk) hogere afbraak van organisch materiaal. Inbrengen van stikstof (N) rijk slib draagt daar verder aan bij. Het gevolg hiervan is dat de gewenste verlaging van nutriëntenbeschikbaarheid niet optreedt (door een verhoging van de N/P ratio in de bodem) waar ruigtesoorten als akkerdistel en brandnetel van kunnen profiteren.
- Drogestofgehalte (tussen 8 en 20%)
 - o Vloeibaar drinkwaterslib heeft een d.s. van ca. 8%. Slib met een drogestofgehalte (d.s.) lager dan 8% bevat naar verhouding te weinig Fe en zorgt bovendien voor hogere transportkosten per m³ slib. Steekvast slib (> 30% d.s.) is met de gangbare technieken moeilijk met de bodem te mengen. Echter, als het slib wat betreft chemische samenstelling potentieel geschikt is, kan gekeken worden of het qua d.s. op specificatie gebracht kan worden.

7.3 Aanbod geschikte slibben

In Tabel 7-1 wordt een overzicht gegeven van het volume (gemiddeld over 2014-2016) aan potentieel geschikte ijzer- en ijzerkalkslibben van Vitens, Brabant Water, Waterbedrijf Groningen en de overige Nederlandse waterbedrijven. Als selectiecriteria zijn gebruikt: 1) het P-bindend vermogen en 2) de aanwezigheid van verontreinigingen in het slib.

TABEL 7-1. RESULTAAT BEOORDELING DRINKWATERSLIBBEN: JAARLIJKS BESCHIKBARE VOLUMES (TON), GEMIDDELD OVER 2014-2016.

	Brabant Water	Vitens	Waterbedrijf Groningen	Overige drinkwater bedrijven	Totaal	
Geschikt bij elke dosering	5.088	21.629	6.612	24.371	57.700	81%
Geschikt afhankelijk van dosering	133	4.502	1.584	2.416	8.635	12%
Te hoge PSI (>0,12)	908	2.972	0	922	4.802	7%
Teveel zware metalen	0	52	0	0	52	0%
Totaal	6.129	29.155	8.196	27.709	71.189	100%

Beoordeeld zijn alleen locaties waarvan voldoende analysegegevens beschikbaar waren voor de selectie, dit gold voor 90% van de productielocaties. Met het jaarlijks vrijkomend volume kan uitgaande van de gebruikte doseringen in de proeflocaties een aanzienlijk areaal behandeld worden (Tabel 7-2).

TABEL 7-2. GLOBALE BEREKENING VAN MET IJZERSLIB TE BEHANDELEN AREAAL PER JAAR.

Jaarproductie slib (ton)	66.335
Ijzergehalte slib (gemiddeld) (kg Fe/ton slib)	28
Suppletiebehoefte (kg Fe/m ²)	0,6 - 2,8
Te behandelen oppervlak (ha)	66 - 310

Vrijwel het gehele volume aan drinkwaterslibben heeft al een bestaande, veelal hoogwaardige, toepassing. Dat betekent dat in de huidige markt slechts een beperkt deel beschikbaar is voor natuurontwikkeling.

7.4 Selectie geschikte slibben

Bijlage tabel VII bevat een overzicht van productielocaties met potentieel geschikt slib. Voor elk slib is de molaire verhouding van fosfor t.o.v. ijzer en aluminium: P/(Fe+Al) opgenomen. Alleen slibben beneden de 0,12 zijn opgenomen in de tabel.

Grondwater bevat lage concentraties zware metalen, deze komen bij de ontijzing geconcentreerd in het ijzerslib terecht door de (sterk) bindende werking van ijzerhydroxide. Via het ijzerslib worden zware metalen in lage concentraties aan de bodem toegevoegd. Relevant zijn hier de zware metalen: As, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb en Zn, met als kritische stoffen kwik (Hg) en arseen (As). Bij een enkele productielocatie is er sprake van een overschrijding van vrijwel alle zware metalen.

Andere verontreinigende stoffen (PAK's enz. zijn niet noemenswaardig aanwezig).

Metalen in ijzerslib logen echter nauwelijks uit, blijkt uit de praktijk en diverse onderzoeken. Uit de in de Groote Heide uitgevoerde praktijkproef met ijzerslib voor fosfaatbinding bleek dat het ijzerslib de pH van de bodem verhoogde, en reeds in de bodem aanwezige metalen

sterker werden gebonden en daardoor verminderd direct beschikbaar zijn (Dorland et al., 2016). Op korte termijn zal er dus sprake zijn van een verbetering, echter op lange termijn zouden de zware metalen door bodemprocessen, wisselende zuur- en vochtgraad kunnen vrijkomen en uitspoelen.

Als referentie kan uitgegaan worden van de normstelling uit het Besluit bodemkwaliteit of de normstelling voor meststoffen. De normstelling voor meststoffen is minder geschikt omdat deze uitgaat van een jaarlijkse toevoeging en niet om een eenmalige ijzersuppletie zoals in dit geval. Bovendien is deze gebaseerd op landbouwgebieden en niet op natuurgebieden. In het besluit Bodemkwaliteit geldt voor natuurgebieden de AW-norm, deze is gebaseerd op de natuurlijke achtergrondwaarden (AW) van diverse stoffen in Nederland. De ijzerslibben zijn daarom geselecteerd vanuit het principe dat na toevoeging van het ijzerslib de gehalten aan zware metalen in de bovengrond niet de AW normen mogen overschrijden.

Het gehalte aan zware metalen in de ontvangende bodem is niet op voorhand bekend. Om toch een selectie te kunnen maken is uitgegaan van het RIVM bestand AW2000 met een steekproef van 100 locaties. Hieruit is de bovengrens van het 95% betrouwbaarheidsinterval bepaald voor de zware metalen. Deze waarde is aangehouden voor de ontvangende bodem in de berekeningen.

In de vijf uitgevoerde praktijkproeven (inclusief de eerdere praktijkproef, de BTO pilot in de Groote Heide) lag de benodigde hoeveelheid slib tussen de 0,7 en 13,9 cm (zie hoofdstuk 2). De ijzergift lag tussen de 0,7 en 2,8 kg Fe/m². Uitgaande van deze toepassingsrange is voor verschillende ijzergiften (0,5, 1, 2 en 4 kg Fe/m²) van het ijzerslib het acceptabele gehalte aan zware metalen bepaald. Acceptabel houdt in dat na toepassing van het slib de AW waarden in de bovengrond niet worden overschreden. Daarbij is ervan uit gegaan dat het ijzerslib gemengd wordt met de bovenste 20 cm van de bovengrond. Voor de dichtheid van de ontvangende bodem is uitgegaan van 1300 kg/m³ (matig vochtige grond) en een drogestofgehalte van 80%.

7.5 Conclusies

Drinkwaterslib van een groot aantal productielocaties van de Nederlandse drinkwaterbedrijven is potentieel geschikt om als fosfaatbinder te worden toegepast op P-rijke, voormalige landbouwgronden (Tabel 7-1 en Bijlage tabel VII). Deze winningen liggen verspreid over Nederland. Hierdoor is het theoretisch mogelijk om bij toekomstige toepassingen van drinkwaterslib, het slib lokaal te betrekken.

Jaarlijks komt ruim 65 duizend ton potentieel geschikt drinkwaterslib vrij. Daarmee kan 65 tot 330 ha behandeld worden. Dit volume is niet vrij beschikbaar, want het grootste deel van de drinkwaterslibben heeft al een bestaande, veelal hoogwaardige, toepassing. Dat betekent dat in de huidige markt de toepassing voor natuurontwikkeling concurreert met andere afzetmogelijkheden.

8 Kosten en logistiek toepassing drinkwaterslib

Een behoorlijk deel van de jaarlijks vrijkomende drinkwaterslibben is qua samenstelling geschikt voor natuurontwikkeling (zie paragraaf 7.4). Voor de toepassing in de praktijk is daarnaast van belang welke drinkwaterslibben tegen een aanvaardbare prijs en met voldoende volume beschikbaar zijn en hoe de leveringsketen eruit ziet. De prijs hangt af van de logistiek (transportafstand en opslag), maar ook van de waarde die bepaald wordt door andere toepassingen van het ijzerslib, bijvoorbeeld als zwavelbinder in biovergisters. In dit hoofdstuk wordt uitgegaan van toepassing van drinkwaterslib t.b.v. natuurontwikkeling op fosfaatrijke zandgronden.

8.1 Leveringsketen

De drinkwaterslibben van de Nederlandse drinkwaterbedrijven en De Vlaamse Watergroep worden door AquaMinerals (voorheen Reststoffenunie) op de markt gebracht. AquaMinerals functioneert als shared service center voor deze bedrijven en organiseert transport, opslag en verkoop.

De kortste en goedkoopste leveringsketen is één op één levering van een drinkwaterbedrijf naar een natuurontwikkelingsproject waar het direct toegepast wordt. Dit zal in de praktijk om een aantal redenen echter vaak niet te realiseren zijn:

- vooraf is het droge stofgehalte niet bekend, hierdoor kan de exacte dosering niet worden vastgesteld;
- de samenstelling en daarmee fosfaatbindingscapaciteit kan afwijken van eerdere analyses, deze moet voorafgaande aan de toepassing bepaald worden om de dosering te kunnen bepalen. Het PSI-getal (verhouding Fe + Al met P) is redelijk constant, maar niet de absolute hoeveelheid, dit varieert tot een factor 2⁴;
- het moment waarop drinkwaterslib vrijkomt en het moment waarop het project het nodig heeft zijn niet gelijk;
- er zijn vrij grote volumes nodig, deze komen niet in korte tijd vrij op één drinkwaterproductielocatie.

Het zal daarom vaak nodig zijn dat er een vorm van tussenopslag is, die de gelegenheid biedt het materiaal op de juiste specificatie te brengen en voldoende materiaal bij elkaar te brengen voor het betreffende project. Een tussenopslag biedt ook de mogelijkheid het droge stofgehalte dat meest rond de 8% ligt omhoog te brengen.

Tussenopslag kan bij een aannemer of op het natuurterrein in een tijdelijke aangelegde voorziening. Opslag bij een aannemer betekent naast opslagkosten ook kosten van een extra transportbeweging. Bij opslag op het natuurterrein zijn er de kosten van de aanleg van een tijdelijke vijver, mobiele damwanden e.d.

⁴ Rekenvoorbeeld voor een betrouwbare locatie: ds 7-9%, ijzer 30-35%. Variatie: 21-32 gram fe/kg slib. Rekenvoorbeeld onbetrouwbare locatie: ds 6-15%, ijzer 20-30%. Variatie: 12-45 gram fe/kg slib.

In gevallen waarin een beperkte hoeveelheid nodig is, deze direct beschikbaar is bij een drinkwaterproductielocatie en zowel samenstelling als droge stofgehalte van de betreffende locatie voldoende stabiel zijn kan direct geleverd worden.

8.2 Tussenopslag

De tussenopslag dient dusdanig ingericht te zijn, dat geen vervuiling kan plaatsvinden met andere, vreemde, bestanddelen. Tussenopslag kan tegen vergoeding bij een aannemer met opslagcapaciteit of op het terrein van de natuurbeheerder waar het wordt toegepast.

Om tijdig voldoende geschikt drinkwaterslib te kunnen leveren moet AquaMinerals tijdig weten wat het benodigde volume is. Op basis van wat nu bekend is dient rekening te worden gehouden met een periode van circa 1,5 jaar om de beschikbaarheid te kunnen garanderen.

Hiervoor zijn een aantal redenen:

- het vinden (of ontwikkelen) van een geschikte opslag- en bufferlocatie;
- regelen van vergunningen;
- vrijwel alle drinkwaterslibben staan onder contract en zijn niet ad hoc ter beschikking voor natuurontwikkeling. Dit geldt met name voor de ijzerslibben, ijzerkalkslibben zijn meest wel beschikbaar;
- het drinkwaterslib komt op de meeste locaties niet ineens in grote volumes vrij, de voorraad dient over langere tijd te worden opgebouwd.

Dit sluit niet uit dat als er een geschikte match is tussen aanbod en vraag er ook op zeer korte termijn geleverd kan worden.

8.3 Kosten

De kosten voor de toepassing van drinkwaterslib op fosfaatrijke gronden zijn opgebouwd uit transportkosten, opslagkosten, de verkoopprijs van het materiaal, de kosten van het opbrengen van het slib en eventueel de kosten van zode verwijdering.

In de praktijkproeven op zandgrond was per hectare 0,63 tot 1,15 kg Fe/m² nodig. Deze dosering komt overeen met 225 a 406 ton ijzerslib of 292 á 526 ton ijzerkalkslib uitgaande van de gemiddelde samenstelling van ijzer- respectievelijk ijzerkalkslib (ijzerslib: 8% droge stof, 35% ijzer; ijzerkalkslib: 12% droge stof, 18% ijzer).

De actuele verkoopprijs van vloeibaar ijzerslib (8% d.s.) is €18,50 per ton. Ijzerkalkslib is 'om niet' verkrijgbaar, mits de transportafstand beperkt is. Deze prijzen zijn franco geleverd, dus inclusief transport van de productielocatie direct naar de afnemer. Wanneer het materiaal via een tussenopslag gaat zijn er wel kosten voor het extra transport en de opslagkosten. Ca € 8 euro per ton voor vloeibaar ijzerslib en ca € 10 per ton voor ijzerkalkslib.

Uitgaande van het hierboven genoemde verbruik in de praktijkproeven op zandgrond ontstaat het indicatieve kostenplaatje (prijspeil 2016) dat in Tabel 8-1 is vermeld.

TABEL 8-1. INDICATIEF KOSTENOVERZICHT TOEPASSING DRINKWATERSLIB. ALLE BEDRAGEN IN €

	Per ton		Per ha			
	Ijzerslib	Ijzerkalkslib	Ijzerslib (min-max)		Ijzerkalkslib	
Kosten drinkwaterslib	15	0	4.163	7.506	0	0
Kosten externe opslag en extra transport	8	10	1.800	3.246	2.917	5.259
Kosten opslag eigen terrein	3 - 5	3 - 5	675	2.029	875	2.630
Kosten aanbrengen	2,7	2,7	612	1.104	793	1.431
Kosten zode verwijdering			4.543	4.543	4.543	4.543
Totaal						
Directe levering*			4.775	8.609	793	1.431
Opslag op natuurterrein			5.450	10.638	1.668	4.060
Opslag extern			6.575	11.855	3.710	6.690
Totaal met zode verwijdering						
Directe levering*			9.318	13.152	5.336	5.974
Opslag op natuurterrein			9.993	15.181	6.211	8.603
Opslag extern			11.118	16.398	8.253	11.233

*) Geen opslag, direct leveren vanaf drinkwaterbedrijf en direct verwerken.

Voor de kosten van het drinkwaterslib en externe opslag is uitgegaan van gemiddelde prijzen 2016. De kosten van opslag op eigen terrein zijn geschat tussen de €3 en €5 per ton. Dit zijn kosten voor het plaatsen van (tijdelijke) damwanden en rijplaten. Voor de kosten van het aanbrengen met een zodenbemester is uitgegaan van €3 per m³. Dit komt overeen met €2,7 per ton (1 m³ drinkwaterslib weegt ca 1,1 ton). De kosten van de zode verwijdering zijn referentie bedragen zoals gehanteerd door Staatsbosbeheer (2015).

Gezien de veel lagere kosten komen ijzerkalkslibben eerder in aanmerking dan ijzerslibben. Daarnaast is het rechtstreeks leveren van het product op of zeer nabij de toepassingslocatie op het eerste oog financieel aantrekkelijker.

8.4 Vergelijking kosten alternatieven

De toediening van drinkwaterslib op fosfaatrijke gronden is een alternatieve maatregel voor het afgraven van de fosfaatrijke grond of het uitmijnen door langjarig maaien en verwijderen van het maaisel.

Chardon (2009) geeft verwijzingen naar een aantal bronnen voor de kosten van afgraven van grond in het kader van natuurontwikkeling. Deze worden door Oosterbaan et al. (2008) geschat op circa €15.000 per hectare wanneer de vrijgekomen grond (afgegraven tot een diepte van 50 cm) op 1 km afstand kan worden geplaatst, en op resp. €20.000 en €25.000 bij plaatsen op 2 en 3 km afstand. Op basis van de door Bekker (2009) verzamelde gegevens voor 29 terreinen waar tussen 1989 en 2005 werd afgegraven, kunnen de kosten per hectare geschat worden op €16.000 (gewogen gemiddelde). De bandbreedte was €5.000 tot €40.000 per ha. De kosten liepen in deze periode op doordat de grond steeds moeilijker afzetbaar was. De ervaring van de betrokken natuurbeheerders in dit TKI project is dat de kosten voor het afgraven van zandgronden eerder tussen de €7.000 en €10.000 per ha liggen. Lokale aannemers zijn graag bereid om het afgegraven zand gratis op te halen of het wordt op eigen terrein toegepast. Voor niet zandgronden waar materiaal moet worden afgevoerd liggen de kosten wel veel hoger.

De kosten van uitmijnen zijn volgens NMI (2015) afhankelijk van de kwaliteit van het maaisel. Als het maaisel bruikbaar is als ruwvoer, zijn de kosten en baten redelijk in balans. Als het maaisel niet bruikbaar is als ruwvoer, kunnen de kosten oplopen tot circa €1.800 per ha per jaar. Er moet een aantal jaren achtereen bemest en gemaaid worden voor het gewenste effect.

Het uitmijnen met gras/klaver en kalibemesting koste volgens Timmermans (2010) in langjarige praktijkproeven in Brabant tussen de €50 en €800 per hectare per jaar met een gemiddelde van €260. Daarbij is de bovengrond gemiddeld schraal na 14 jaar. De totale kosten bedragen dan (niet geïndexeerd) €3.600 per ha. De ervaring van de natuurbeheerders in dit TKI project is dat de kosten 30-40% hoger zijn. Ook wordt de termijn van 14 jaar voor het verschrallen als kort beoordeeld.

Op basis van literatuur en praktijkervaringen kan uitgegaan van de volgende range voor de kosten van de verschillende opties:

	Range	Kanttekeningen
Drinkwaterslib	€ 1.500 - € 12.000	ijzerkalkslib € 1.500 - € 7.000
Drinkwaterslib + zode verwijdering	€ 6.000 - € 16.500	
Afgraven	€ 5.000 - € 40.000	zandgrond € 7.000 - € 10.000
Uitmijnen	€ 700 - € 5.000	praktijkervaring € 4.000 - € 5.000

8.5 Conclusie

De kosten van immobilisatie van fosfaat door toediening van drinkwaterslib zijn sterk afhankelijk van de keuze van het slib (ijzerslib of ijzerkalkslib), al dan niet gebruik van een tussenopslag en de noodzaak van zode verwijdering. In de meeste gevallen zal levering via een opslag noodzakelijk zijn om de benodigde hoeveelheid en gewenste specificatie te kunnen leveren.

De kosten van afgraven en uitmijnen zijn eveneens sterk situatieafhankelijk. De kosten van de inzet van ijzerkalkslib zonder zode verwijdering zijn op zandgrond lager dan de kosten van afgraven en in dezelfde orde grootte als uitmijnen. Daarmee is het een realistisch alternatief vanuit economisch perspectief.

9 Beantwoording onderzoeksvragen en stappenplan

Resultaten uit eerdere laboratorium experimenten hadden de fosfaatbindende werking van het ijzer in drinkwaterslib al aangetoond (Koopmans et al., 2010). Ook de bevindingen uit de kleinschalige pilot die in het kader van KWR's Bedrijfstakonderzoek in de Groote Heide was uitgevoerd, gaf aanleiding tot de herhaling van het onderzoek op grotere schaal. Behalve het monitoren van de effecten van drinkwaterslib op de bodemchemie, de vegetatie en springstaarten (als maat voor de bodemmesofauna), was het doel van dit onderzoek om ervaring op te doen met de logistieke kant en inzicht te krijgen in het marktpotentieel van deze toepassing. Op welke wijze kan het drinkwaterslib het best in de bodem worden ingebracht en is die manier afhankelijk van het bodemtype? Aan welke eisen t.a.v. chemische samenstelling moet het drinkwaterslib voldoen en hoe zit het met de regelgeving? Wat is het aanbod aan potentieel geschikt drinkwaterslib op jaarbasis en hoeveel hectares grond kan daarmee worden behandeld? Ook op dergelijke vragen beoogde dit onderzoek antwoorden te geven. In paragraaf 8.1 worden de antwoorden op deze onderzoeksvragen bijeengezet. Specifiek voor de afweging welke toepassingswijze van het drinkwaterslib in welke situatie geschikt is, is in paragraaf 8.2 een stappenplan (beslisboom) opgenomen. In paragraaf 8.3 tenslotte, worden enkele aanbevelingen gedaan voor mogelijke andere toepassingen van drinkwaterslib.

9.1 Beantwoording onderzoeksvragen

Heeft de toepassing van drinkwaterslib de beoogde effecten op de bodemchemie?

In alle proefgebieden leidde de toepassing van zowel ijzerslib als ijzerkalkslib direct tot de beoogde verlaging van de fosfaatbeschikbaarheid en -verzadigingsgraad. Deze effecten waren ook na 1 jaar, in 2016, nog waarneembaar. De looptijd van onze experimenten was echter te kort om gefundeerde uitspraken te kunnen doen over hoe lang deze effecten aanhouden.

Heeft de toepassing van drinkwaterslib de beoogde effecten op de vegetatie?

Geconstateerd moet worden dat duidelijke positieve effecten van de toepassing van drinkwaterslib op de vegetatie vooralsnog niet tot beperkt zichtbaar zijn. De chemische samenstelling van de vegetatie laat zien dat de planten fosfaat nog altijd in ruime mate kunnen opnemen. Streefwaarden voor de ontwikkeling van schrale natuurdoeltypen werden dan ook niet overal bereikt. De bodemchemie is wel geschikt voor de ontwikkeling van de wat nutriëntrijkere natuurdoeltypen.

Kan drinkwaterslib op elk bodemtype worden toegepast?

Het vloeibare drinkwaterslib kan het best op (droge) zandgronden worden toegepast. Op bodemtypen met een slechte doorlatendheid, zoals veengrond of zand met een hoog klei- of leemgehalte, infiltreert het slib (zeer) langzaam waardoor een eventuele nabewerking van de bodem niet op korte termijn mogelijk is. Het mengen van het drinkwaterslib door de bodem, bijvoorbeeld door frezen (hoewel dit niet in alle gevallen gewenst is omdat het de bodemstructuur aantast), is in deze gevallen niet of beperkt mogelijk.

Kan drinkwaterslib met constante dosis worden ingebracht?

Met de machine die gedurende dit onderzoek is ontwikkeld kan, ook wanneer de zode niet wordt verwijderd, drinkwaterslib met constante dosis worden ingebracht. Wel kan het noodzakelijk zijn om, indien de berekende benodigde dosis erg hoog is, het slib in meerdere keren op te brengen, eventueel met grotere tussenpozen.

In hoeverre is het nodig vooraf de toe te dienen dosis drinkwaterslib te berekenen?

Ons onderzoek beoogde, voorafgaand aan de toepassing, zo nauwkeurig mogelijk de toe te dienen dosis drinkwaterslib te berekenen. De verhouding tussen Fe en P in zowel de bodem als het toe te passen slib, in verhouding tot de streefwaarden voor fosfaatbeschikbaarheid, waren hierbij de bepalende factor. De veldsituatie liet echter zien dat de praktijk weerbarstiger is. De ruimtelijke en temporele heterogeniteit in fosfaatbeschikbaarheid in de bodem, in combinatie met verschillen in drogestofgehalten van drinkwaterslib van één en dezelfde winlocatie, maken het vrijwel onmogelijk om vlakdekkend de streefwaarden te behalen. Het is daarom aan te bevelen om deze behandeling in de tijd te herhalen en (natuurlijke) gradiënten in fosfaatbeschikbaarheid te accepteren.

Dient de zode voorafgaand aan de toepassing te worden verwijderd?

Hier is niet een eenduidig antwoord op mogelijk. Het verwijderen van de zode zorgt in combinatie met de toepassing van drinkwaterslib, voor een open bodem en goede omstandigheden voor kieming en vestiging van doelsoorten. Dit kan een reden zijn om de zode inderdaad te verwijderen. Een nadeel van het verwijderen én mogelijk moeten afzetten van de zode zijn de kosten die hiermee gemoeid zijn.

Hoe kan het drinkwaterslib het best met de bodem worden gemengd?

In de vier experimentele proefgebieden is het drinkwaterslib door frezen met de bovenste 20 cm van de bodem gemengd. Dit zorgde voor een goede menging, maar leidde ook tot versterking van de bodemstructuur. Met name op organische bodems (veengrond, of wanneer de zode niet vooraf is verwijderd) kan dit leiden tot een ongewenste verhoging van de stikstofmineralisatie en (tijdelijke?) toename van ruigtesoorten.

Heeft de toepassing van drinkwaterslib toxische effecten op de bodem en/of vegetatie?

Hoewel bekend is dat hoge concentraties ijzer mogelijk toxisch zijn voor verschillende plantensoorten en/of bodemmesofauna, zijn er bij de gebruikte concentraties in onze experimentele toepassingen geen ijzertoxiciteitseffecten op aanwezige plantensoorten geconstateerd. Hoewel er in De Scheeken effecten van ijzerslib op de samenstelling van springstaarten gemeenschappen geconstateerd werden, waren deze effecten relatief kleiner dan die door het verwijderen van de zode werden veroorzaakt. Duidelijke toxische effecten waren niet waarneembaar.

Zijn er negatieve bijeffecten van de toediening van zware metalen die ook in het drinkwaterslib zitten?

De eventuele aanwezigheid van zware metalen is een belangrijke factor bij de selectie van potentieel geschikt drinkwaterslib. Het mengen van de benodigde hoeveelheid drinkwaterslib met de bovenste bodemlaag, mag er niet toe leiden dat de gehalten aan zware metalen hoger worden dan de Achtergrondwaarden uit het besluit Bodemkwaliteit. Alleen die winningen waarvoor bovenstaande geldt, mogen voor deze toepassing geselecteerd worden (zie Bijlage tabel VII). Bovendien bindt het ijzer naast fosfaat, ook andere, in lage concentraties aanwezige, zware metalen, wat een positief effect heeft op de concentraties

zware metalen in de bodem. Op deze wijze kunnen negatieve effecten van zware metalen worden uitgesloten.

Welke wettelijke kaders gelden voor de toepassing van drinkwaterslib?

Dat zijn de Wet Bodembescherming en de Wet Natuurbescherming.

Mag drinkwaterslib op fosfaatrijke gronden worden toegepast?

Ijzerrijk drinkwaterslib heeft de status van bijproduct en kan worden toegepast als fosfaatbindingsproduct voor zover dat niet in strijd is met de zorgplicht bodem. Dat wil zeggen dat het gebruik geen bedreiging vormt voor de bodem.

Wie is bevoegd gezag bij de afweging van deze toepassing?

Het bevoegd gezag is in dit geval de gemeente of het waterschap. Indien drinkwaterslib in een natuurgebied wordt toegepast, dient ook de betreffende natuurbeheerder betrokken te worden en toestemming te verlenen.

Van welke winningen kan het drinkwaterslib worden gebruikt?

Een groot aantal productielocaties van de Nederlandse drinkwaterbedrijven levert potentieel geschikt ijzerrijk drinkwaterslib. Aangezien deze winningen verspreid over Nederland liggen is het theoretisch mogelijk om lokaal drinkwaterslib toe te passen (en zo transportkosten te beperken).

Hoeveel drinkwaterslib is op jaarbasis beschikbaar en welk oppervlak kan daarmee worden behandeld?

Jaarlijks komt ruim 65 duizend ton potentieel geschikt drinkwaterslib beschikbaar. Daarmee kan 65 tot 330 ha behandeld worden. Echter, dit volume is niet vrij beschikbaar want het grootste deel van de drinkwaterslibben heeft al een bestaande, veelal hoogwaardige, toepassing. Dit betekent dat in de huidige markt de toepassing voor natuurontwikkeling concurreert met andere afzetmogelijkheden.

9.2 Stappenplan toepassing drinkwaterslib

Het toepassen van drinkwaterslib op fosfaatrijke gronden is slechts één van de maatregelen die een terreinbeheerder tot zijn beschikking heeft voor de ontwikkeling van hogere natuurwaarden. In onderstaand beslisschema wordt aangegeven onder welke condities en randvoorwaarden de toepassing van drinkwaterslib een kansrijke maatregel is.

Overwegingen:

1) Bodemtype

Het succes van deze toepassing wordt in sterke mate bepaald door het bodemtype

- a. Droog zand → geen belemmeringen in opbrengen of mengen van slib met de bodem
- b. Lemig zand → geen belemmeringen in opbrengen of mengen van slib met de bodem.
- c. Zand/klei → opbrengen van slib leidt mogelijk tot moeilijk begaanbaar terrein omdat het slib niet snel de bodem indringt. Nabewerking is vermoedelijk niet op dezelfde dag mogelijk.
- d. Veen → toepassing van drinkwaterslib wordt vooralsnog op dit bodemtype niet geadviseerd omdat het slib zeer langzaam de bodem indringt en slecht met de bodem te mengen is.

- e. Klei → dit bodemtype hebben we niet onderzocht. Effecten op bodemchemie zijn niet bekend. Nader onderzoek is nodig. Hoge weerstand van de bodem kan, net als op veen, een knelpunt zijn.
- f. Overig → niet onderzocht, nader onderzoek is nodig. Hierboven genoemde bevindingen maken inschatting van toepassing vermoedelijk al wel mogelijk.

2) Fosfaatbeschikbaarheid

Het is belangrijk om vooraf kennis te hebben van de fosfaatbeschikbaarheid in relatie tot de streefwaarden voor schrale natuur ($P_w \leq 10$, $PSI \leq 0.1$), en te weten hoe het verloop met de diepte is.

Bij voldoende budget, EN indien afgraven geen problemen oplevert in de waterhuishouding door maaiveldverlaging, en er zijn geen archeologische waarden in het gebied aanwezig, dan is afgraven het meest effectief in het verlagen van de P-beschikbaarheid en het creëren van goede kiemings- en vestigingskansen voor doelsoorten. Is afgraven echter GEEN optie, en is:

- a. de fosfaatbeschikbaarheid tot op grote diepte (>50 cm diep) ruim hoger dan de streefwaarden:
→ combineer afgraven met de toepassing van drinkwaterslib. Door alleen de bovenste 20-30 cm af te graven en de rest met drinkwaterslib te behandelen wordt een kostenreductie gerealiseerd t.o.v. volledig afgraven van de bouwvoor.
- b. de fosfaatbeschikbaarheid met name in de zode (0-5 cm) hoog:
→ verwijder de P-rijke zode en meng drinkwaterslib met de bodemlaag eronder.
- c. de fosfaatbeschikbaarheid in de zode lager dan in de laag eronder (5-25 cm) → overweeg de zode te laten zitten en meng drinkwaterslib met de bovenste bodemlaag.

3) Gewenste termijn natuurontwikkeling

Op fosfaatrijke gronden duurt het in veel gevallen (heel) lang voordat de gewenste natuurontwikkeling via uitmijnen (met of zonder kaliumbemesting) tot stand komt. Deze termijn is vermoedelijk aanzienlijk korter in het geval van de toepassing van drinkwaterslib, hoewel nader onderzoek hiervoor nodig is. De looptijd van onze experimenten was te kort om hier onderbouwde uitspraken over te kunnen doen.

4) Doelvegetatie

De toepassing van drinkwaterslib leidt tot matig voedselrijke omstandigheden en niet tot hele schrale bodems. De te ontwikkelen (doel)vegetatie dient hiervoor geschikt te zijn. Te denken valt aan:

- a. N10 Vochtige schraalgraslanden (N10.01 Nat schraalland; N10.02 Vochtig hooiland (*in bijzonder Dotterbloemgrasland*),
- b. N11 Droge schaalgraslanden (N11.01 Droog schraalland),
- c. N12 Rijke graslanden en akkers (N12.01 Bloemdijk, N12.02 Kruiden- en faunarijke grasland, N12.03 Glanshaverhooiland, N12.05 Kruiden en faunarijke akker, N12.06 Ruigteveld),
- d. N14 Vochtige bossen (N14.01 Rivier- en beekbegeleidend bos (*in bijzonder Broekbos*).

Als na het doorlopen van bovenstaande overwegingen de toepassing van drinkwaterslib als een potentieel geschikte maatregel wordt gezien, is het belangrijk om te bepalen op welke

wijze en op welk moment drinkwaterslib het best kan worden toegepast. Hiervoor hebben wij een stappenplan ontwikkeld (Figuur 9-2).

STAP1. Allereerst is de uitgangssituatie van belang. Betreft het een voormalige akker zonder zode, of een grasland? Op een akker is een zode afwezig, en kan drinkwaterslib met bijvoorbeeld een mestinjecteur in de bovenste 20 cm van de bodem worden ingebracht (toepassing A). Vervolgens kan middels frezen het slib goed met de bodem worden gemengd. Frezen heeft in deze situatie geen nadelige gevolgen voor de bodemopbouw, omdat grondbewerking op deze voormalige akker al veelvuldig zal zijn toegepast.

STAP 2. Is een grasland de uitgangssituatie, dan dient eerst beoordeeld te worden of de zode (bovenste 0-5 cm) verwijderd kan worden. Ons onderzoek heeft uitgewezen dat dit te adviseren is, maar er kunnen omstandigheden zijn waarbij zode verwijdering niet gewenst is. Factoren die een reden zijn om de zode niet te verwijderen, zijn bijvoorbeeld:

- de kosten van zode verwijdering zijn te hoog;
- maaiveld verlaging heeft nadelige effecten op de waterhuishouding;
- met de zode worden ook restpopulaties van doelsoorten verwijderd;
- zaden van doelsoorten zijn in zode aanwezig;

Als de zode kan worden verwijderd, kan het drinkwaterslib op twee manieren in de bodem worden ingebracht (Toepassing A of B).

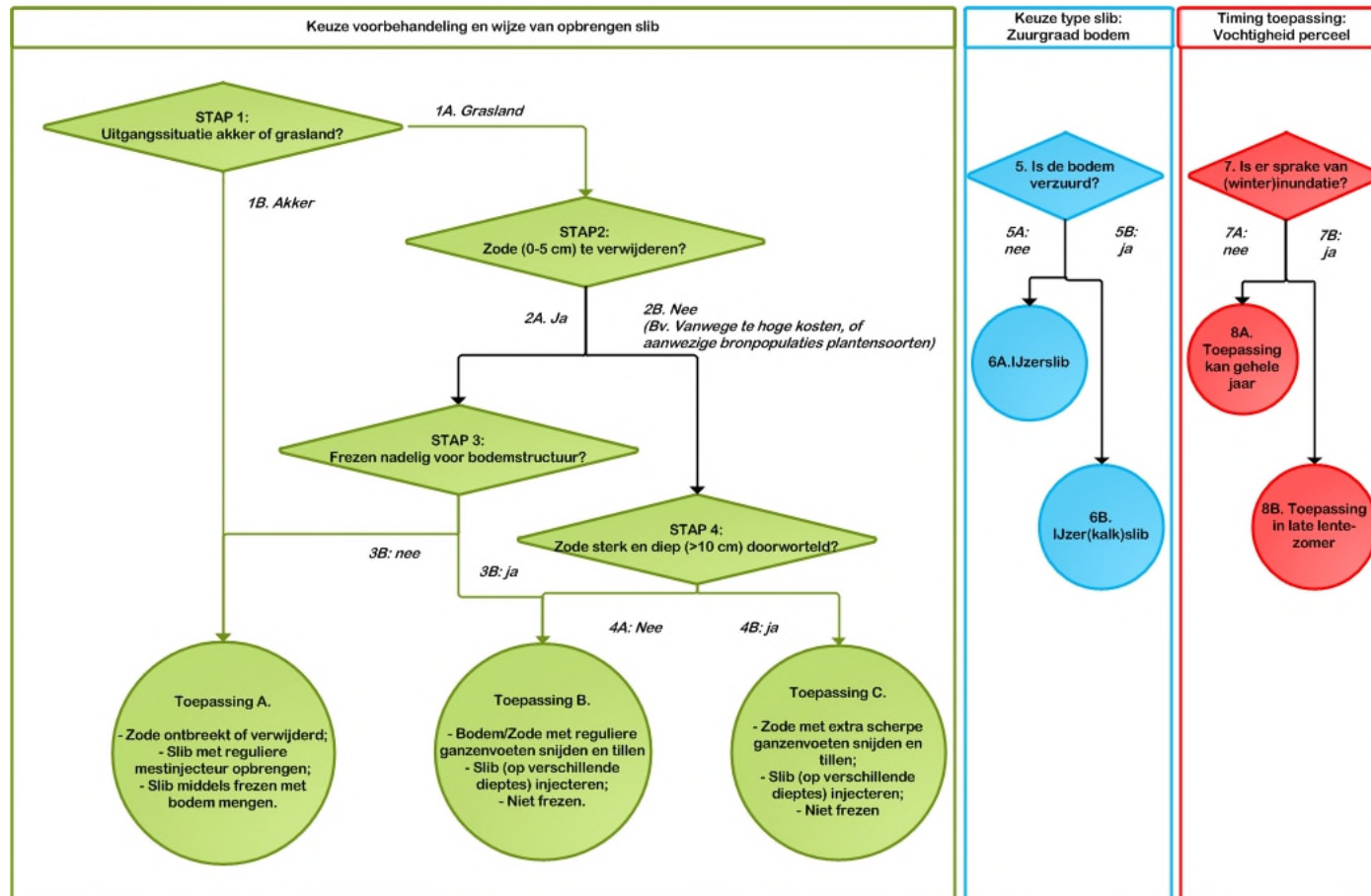
STAP3. Welke wijze het meest geschikt is, hangt af van de vraag of het slib middels frezen met de bovenste 20 cm van de bodem gemengd kan worden, of dat deze verstoring van de bodemstructuur ongewenst is. Is frezen geen probleem, dan kan gekozen worden voor de meest eenvoudige toepassingswijze A. In veel gevallen zal een verstoring van de bodemstructuur door frezen echter ongewenst zijn. In dat geval dient gekeken te worden naar de doorworteling van de zode.

STAP 4. Graslanden die pas kort uit agrarische productie genomen zijn, zullen in de regel een ondiepe doorworteling kennen (< 10 cm). Het doorsnijden van deze zode zal daardoor relatief gemakkelijk gaan en kan met reguliere "beitels of ganzenvoeten" (Figuur 9-1) worden uitgevoerd (Toepassing B). Indien het grasland reeds langere tijd uit productie is, zoals onze proeflocatie te Landgoed Mentink (zie hoofdstuk 4), zal de zode sterk en tot grotere diepte doorworteld zijn. In dat geval dient de zode door beitels of ganzenvoeten met extra messen (zie Figuur 9-1) te worden doorsneden (Toepassing C).



FIGUUR 9-1 . REGULIERE GANZENVOET (LINKS) EN BEITEL MET EXTRA SNIJVLAK (RECHTS) VOOR HET DOORSNIJDEN EN OPTILLEN VAN DE ZODE. HET DRINKWATERSLIB WORDT VIA DE SLANGEN ACHTER DE GANZENVOET OF BEITEL ONDER DE ZODE INGEBRACHT.

Stappenplan toepassing drinkwaterslib



FIGUUR 9-2. STAPPENPLAN VOOR DE TOEPASSINGWIJZE (A, B OF C) VAN DRINKWATERSLIB. STAPPEN 1-4 LEIDEN TOT EEN AANBEVELING VOOR DE WIJZE VAN TOEPASSEN. STAPPEN 5 EN 7 ADVISEREN RESPECTIEVELIJK OVER TYPE SLIB EN MOMENT VAN TOEPASSEN

9.3 Aanbevelingen

Dit project richt zich op de toepassing van drinkwaterslib in P-rijke natuurgebieden en/of op voormalige landbouwronden. Alternatieve toepassingen zijn wellicht ook kansrijk en worden momenteel ook onderzocht. Zo wordt als onderdeel van het OBN project *Invloed van waterdynamiek en nutriëntenbeschikbaarheid op vegetatie en fauna t.b.v. ontwikkeling van broekbossen in beekdalen* (OBN 2015-71-BE) een experiment uitgevoerd met de toepassing van ijzerslib waarmee herstel beoogd wordt van broekbossen op voormalige landbouwgronden in beekdalen. Daarnaast wordt, in opdracht van Brabant Water, onderzoek verricht naar de toepassing van een ander type drinkwaterslib, kalkslib (met een heel laag ijzergehalte), voor herstel van droge heide in de Stiphoutse bossen.

Andere toepassingen die interessant zijn om onderzocht te worden, zijn:

- Toepassing van drinkwaterslib op (snel)wegbermen om zo biomassaproductie te verminderen en kosten van maaibeheer te verlagen;
- Toepassing van drinkwaterslib op oevers van watergangen om zo uitspoeling van P uit geschoond materiaal te verminderen.

10 Literatuurlijst

- Agyin-Birikorang, S., G.A. O'Connor & T.A. Obreza, 2013. Drinking Water Treatment Residuals to Control Phosphorus in Soils. Document SL 300, Soil and Water Science Department, Institute of Food and Agricultural Sciences, University of Florida.
- Bekker, R.M., 2009. 20 jaar ontgronden voor natuur op zandgronden. De Levende Natuur (vol. 110), nr. 1.
- Berg, M. P., J. Noordijk, A. Schakel & M. Bongers 2001. De springstaart *Isotomurus maculatus* nieuw voor de fauna van Nederland (Insecta: *Collembola*). Nederlandse Faunistische Mededelingen v5:79-85.
- Berg, M. P., M. Stoffer & H. H. van den Heuvel 2004. Feeding guilds in *Collembola* based on digestive enzymes. *Pedobiologia* 48:589-601.
- Borggaard, O.K. (1983). The influence of iron oxides on phosphate adsorption by soil. *Journal of Soil Science* 34: 333-341.
- Chardon, W.J. 1994. Relationship between phosphorus availability and phosphorus saturation index. Report 19, Inst. voor Agrobiol. en Bodemvruchtbaarheidsond., Haren. <http://edepot.wur.nl/251874>
- Chardon, W.J., 2009. Mogelijkheden voor immobiliseren van bodemfosfaat in het kader van natuurontwikkeling. Rapport 1870, Alterra Wageningen. <http://edepot.wur.nl/10521>
- Dorland, E., Yuki Fujita, Wim Chardon, Bert Jan Groenenberg, Esther Lucassen, Fons Smolders, Aalke de Jong, 2016. Ijzerslib als alternatief voor afgraven – Natuurontwikkeling door fosfaat-immobilisatie. BTO 2015.078.
- Eisenhauer, N., A. C. W. Sabais, F. Schonert & S. Scheu 2010. Soil arthropods beneficially rather than detrimentally impact plant performance in experimental grassland systems of different diversity. *Soil Biology & Biochemistry* 42:v4v8-v424.
- Freese, D., S.E.A T.M. van der Zee & W.H. van Riemsdijk (1992). Comparison of different models for phosphate sorption as a function of the iron and aluminium oxides of soils. *Journal of Soil Science* 43: 729-738.
- Gisin, H. 1943. Ökologie und Lebensgemeinschaften der Collembolen im schweizerischen Exkursionsgebiet Basels. *Revue Suisse De Zoologie* 50:v3v-224.
- Hopkin, S. P. 2007. A Key to the Springtails (*Collembola*) of Britain and Ireland. Field Studies Council (AIDGAP Project).
- Hopkin, S. P. 1997. Biology of the springtails (Insecta: *Collembola*). Oxford University Press, New York.
- Irmeler, U. 2004. Long-term fluctuation of the soil fauna (*Collembola* and Oribatida) at groundwater-near sites in an alder wood. *Pedobiologia* 48: 349-363.
- Janssen, M. P. M. & R. F. Hogervorst 1993. Metal accumulation in soil arthropods in relation to micro-nutrients. *Environmental Pollution* 79:v8v-v89.
- Koopmans, G.F, Chardon, W.J. en Groenenberg, J.E, 2010. Karakterisatie van ijzerslib en – zand en een verkenning van de mogelijkheden van het gebruik van deze reststoffen om fosfaatverliezen vanuit landbouwgronden naar het oppervlaktewater te verminderen. Wageningen, Alterra, Alterra-rapport 2047.
- Leps, J. & P. Smilauer 2003. Multivariate analysis of ecological data using CANOCO. Cambridge University Press, Cambridge.
- Makris, K.C., W.G. Harris, G.A. O'Connor & H. El-Shall (2005). Long-term phosphorus effects on evolving physicochemical properties of iron and aluminum hydroxides. *Journal of Colloid and Interface Science* 287: 552-560.
- Ministerie van Economische Zaken, 2012. Groot Project Ecologische Hoofdstructuur. Zesde voortgangsrapportage.
- NMI, 2015. Fosfaatuitmijning voor natuurontwikkeling op voormalige landbouwgrond in Drenthe - Eindrapport 2010-2014 - Deelresultaat 6 & 7, Rapport 1390.N.10-VI.
- Nottrot, F., E. N. G. Joosse & N. M. van Straalen 1987. Sublethal effects of iron and manganese soil pollution on orchesella-cincta (*Collembola*). *Pedobiologia* 30:45-53.
- Oosterbaan, A., J.J. de Jong & A.T. Kuiters, 2008. Verlanden op voormalige landbouwgrond op droge zand-gronden. Rapport 1669, Alterra Wageningen Natuur 110: 9-15.
- Oksanen, J., F. G. Blanchet, R. Kindt, P. Legendre, P. R. Minchin, R. B. O'Hara, G. L. Simpson, P. Solymos, M. H. H. Stevens & H. Wagner. 2015. vegan: Community Ecology Package. R package version 2.3-0.
- R Core Team. 2015. R: A language and environment for statistical computing versie 3.2.0.

- Runhaar, H., E. Lucassen, R. Verdonschot, 2016. Ontwikkeling Broekbossen. Tussenrapportage november 2016. OBN 2015-71-BE.
- Sherwood, L.J. & Qualls, R.G. (2001). Stability of phosphorus within a wetland soil following ferric chloride treatment to control eutrophication. *Environmental Science & Technology* 35: 4126-4131.
- Staatsbosbeheer, Standaardkostprijs directe werkzaamheden Terreinbeheer voor gezamenlijke TBO's, 28 mei 2015.
- Timmermans, B. et al, 2010. Fosfaat uitmijnen op natuurpercelen met gras/klaver en kalibemesting - Hand-reiking voor de praktijk, Louis Bolk Instituut.
- van Straalen, N. M. & P. C. Rijninks 1982. The efficiency of tullgren apparatus with respect to interpreting seasonal-changes in age structure of soil arthropod populations. *Pedobiologia* 24:197-209.
- Weng, L., W.H. Van Riemsdijk & T. Hiemstra (2012). Factors Controlling Phosphate Interaction with Iron Oxides. *Journal of Environmental Quality* 41: 628-635.

11 Bijlagen

Deze bijlagen bevatten de volgende tabellen:

- I. Concentraties zware metalen Groote Heide in 2015
- II. Vegetatie-opnamen Groote Heide, Onnerpolder, Bloemkampen en De Scheeken
- III. Chemische samenstelling drinkwaterslibben Onnerpolder, Bloemkampen en De Scheeken
- IV. Beschrijving chemische analyse methode vegetatie
- V. Chemische samenstelling ijzerslib Eibergen
- VI. Overzicht bemonsterde springstaarten
- VII. Overzicht geschikte slibben

Disclaimer:

De gegevens in deze bijlagen zijn niet opgenomen in dit openbare rapport. Bij interesse in de gegevens van één of meerdere bijlagen kunt u een verzoek sturen naar:

edu.dorland@kwrwater.nl.